

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาหาค่าแรงต้านทานคลื่นของเรือไตรมาราน

โดยการคำนวณพลศาสตร์ของไหล

STUDY OF WAVE RESISTANCE OF A TRIMARAN SHIP

USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS



T123047

อมรเดช กานต์นฤนิมิต

AMORNDECH KARNNARUNIMIT

วพ.

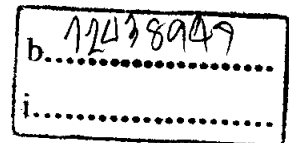
ว 278 ก

2555

เลขหมู่.....123047

เลขทะเบียน.....

วัน,เดือน,ปี 18 ต.ค. 2555



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2555

KMITL 2012-EN-M-030-121

STUDY OF WAVE RESISTANCE OF A TRIMARAN SHIP
USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

AMORNDECH KARNNARUNIMIT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2012
KMITL 2012-EN-M-030-121

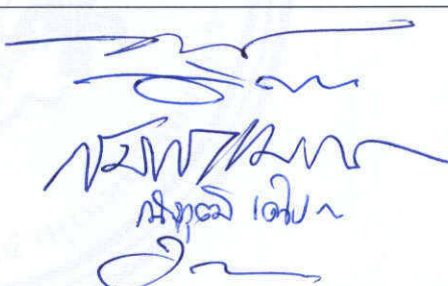
COPYRIGHT 2012

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาหาค่าแรงต้านทานคลื่นของเรือไตรมารานโดยการคำนวณพลศาสตร์ของไหล
Thesis Title Study of Wave Resistance of a Trimaran Ship Using Computational Fluid Dynamics
นักศึกษา นายอมรเดช กานต์นฤนิมิต
รหัสประจำตัว 50060327
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2012-EN-M-030-121

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.จารุวัตร	เจริญสุข	
ดร.อำนาจ	คณะรัฐ	
รศ.ดร.สมิทธิ์	เอี่ยมสอาด	
ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ	เดไปวา	
ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์	พิมสาร	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพุธที่ 25 เมษายน พ.ศ. 2555 เวลา 13.00 - 14.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้อง E12 - 401

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.สุชัยวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)
คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่ 25 เมษายน พ.ศ. 2555

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาหาค่าแรงต้านทานคลื่นของเรือไตรมาราน โดยการคำนวณพลศาสตร์ของไหล
นักศึกษา	นายอมรเดช กานตันฤนิมิต
รหัสนักศึกษา	50060327
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2555
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาการใช้การคำนวณพลศาสตร์ของไหลเพื่อหาแรงต้านทานคลื่น ในการวิเคราะห์จะพิจารณาการกระทำระหว่างน้ำและอากาศ และพัฒนาการของคลื่น แต่จะไม่คำนึงถึง การกระทำจากแรงต้านทานแรงเสียดทานหรือการไหลเป็นแบบไม่มีความหนืด (Inviscid flow) ใน เบื้องต้นของการจำลองการคำนวณพลศาสตร์ของไหล ได้ทดลองเปรียบเทียบเรือท้องเดียว (Monohull) เรือท้องคู่ (Catamaran) ที่ความเร็วเลขฟรูด (Froude number, F_n) ในช่วง 0.5 - 0.7 และได้ทำการบันทึกค่าแรงดัน จากนั้นคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่น เปรียบเทียบกับผล การทดลองลากเรือจำลองในถังลากเรือ (Towing Tank Test) ของ Insel และ Molland [1] จากนั้น ทดสอบในเรือไตรมารานที่ความเร็วฟรูดนัมเบอร์ในช่วง 0.330 - 0.392 และในช่วง 0.200 - 0.829 เทียบกับผลการทดลองลากเรือจำลองในถังลากเรือ เพื่อยืนยันว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสอดคล้อง กับผลการทดลอง เพื่อศึกษาความคลาดเคลื่อนในช่วงความเร็วฟรูดนัมเบอร์ต่างๆ นำเสนอการ วิเคราะห์สัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นที่เกิดขึ้นกับเรือไตรมาราน จากผลลัพธ์พบว่าได้ค่าความ แตกต่างกับการทดลอง 4 - 44% โดยค่าที่ได้จาก CFD ส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่าผลการทดลองลากเรือ จำลอง และใช้การจำลองการคำนวณพลศาสตร์ของไหลหาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นที่เกิด ขึ้นกับเรือไตรมาราน ที่แต่ละระยะห่างตัวเรือ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของแรงต้านทานคลื่น ที่ความเร็ว เลขฟรูดในช่วง 0.2 - 0.8 จากผลการจำลองพบว่า พฤติกรรมของแรงต้านทานคลื่นที่เกิดจากตัวเรือ ไตรมาราน ซึ่งมีพฤติกรรมที่แตกต่างไปในช่วง λ/L เท่ากับ 0.00 และระยะห่างระหว่างตัวเรือใน แนวแกนตามยาว (λ) ที่มีผลต่อแรงต้านทานคลื่นอย่างมากในช่วงความเร็วฟรูดนัมเบอร์เท่ากับ 0.2 - 0.5

คำสำคัญ: วิธีคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล, แรงต้านทานคลื่น, เรือไตรมาราน

Thesis Title	Study of Wave Resistance of a Trimaran Ship Using Computational Fluid Dynamics
Student	Mr. Amorndech Karnnarunimit
Student ID.	50060327
Degree	Master of Engineering
Program	Mechanical Engineering
Year	2012
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Monsak Pimsarn

ABSTRACT

The purpose of this study is to assess the use of Computational Fluid Dynamics (CFD) to analyze wave resistance. In the analysis, the air-water interaction and wave formation are considered but frictional resistance is neglected or the flow is assumed to be inviscid. At first, the simulations of monohull model and catamaran model were implemented by varying Froude number from 0.5 to 0.7. The pressure force was recorded for each simulation and then employed to calculate the wave resistance coefficient. The obtained wave resistance coefficients were later compared with the towing tank test results, conducted by Insel and Molland [1], the simulation of trimaran model was carried out to evaluate wave resistance coefficient by varying Froude number from 0.33 to 0.392 and from 0.200 to 0.829 compared with the towing tank test results to validate the simulated results. The obtained wave resistance coefficients were compared with the experimental data and it was found that the discrepancy is varied from 4 to 44 percent. The simulated values are less than the tested results. And the CFD was employed to calculate the wave resistance coefficient of trimaran model at each hull spacing by varying Froude number from 0.2 to 0.8. The simulated results show that wave characteristic of trimaran is varied from b/L (0.00) and the comparison longitudinal spacing of trimaran hull has a great effect on wave resistance when Froude number is varied from 0.2 to 0.5.

Keywords: CFD, Wave resistance, Trimaran ship

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจากท่านอาจารย์ ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และท่านอาจารย์ รศ.ดร. จำลอง ปราบแก้ว ที่ช่วยให้แนวทาง การสนับสนุนต่างๆ และประสบการณ์แก่ข้าพเจ้า ข้าพเจ้ารู้สึกทราบบ้างซึ่งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ทั้งสองท่าน และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณท่านอาจารย์ ดร.ยอดชาย เตียเป็น และน้องสาธิต พงษ์ดวง ภาควิชาวิศวกรรมต่อเรือ และ เครื่องกลเรือ คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยพาณิชยนาวิ นานาชาติ ตลอดจนท่านอาจารย์ น.ท.ดร.สัตยา จันทระประภา ร.น. และ น.ต. กิตติภูมิ ภูมิโคกรักษ์ กรมแผนการช่าง กรมอุทกหารเรือ ที่ช่วยสนับสนุนข้อมูลและหนังสือต่างๆ ที่ใช้ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

อมรเดช กานตันฤนิมิต

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 แนวคิดที่ใช้ในการศึกษา.....	3
1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน.....	3
1.6 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
1.7 ขั้นตอนของการศึกษา.....	4
1.8 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	4
1.9 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 บทนำ.....	6
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย.....	11
3.1 แรงต้านทานตัวเรือ.....	11
3.1.1 บทนำ.....	11
3.1.2 การวิเคราะห์เชิงมิติ.....	12
3.1.3 แรงต้านทานแรงเสียดทาน.....	18
3.1.4 แรงต้านทานคลื่น.....	20
3.2 วิธีการทดลองลากเรือจำลอง.....	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล	24
บทที่ 4 การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน	27
4.1 เรือท้องเตี้ย	28
4.2 เรือท้องคู้	34
4.3 เรือสามท้อง	44
4.4 สรุปผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน	57
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	59
5.1 การจำลองตัวเรือ WIGLEY	59
5.2 การกำหนดเงื่อนไขการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล	62
5.3 ผลการทดลอง	64
5.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง	70
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	71
6.1 สรุปผล	71
6.2 ข้อเสนอแนะ	71
เอกสารอ้างอิง	71
ภาคผนวก	73
ภาคผนวก ก. ขั้นตอนและรายละเอียดการสร้างโมเดล	74
ภาคผนวก ข. ขั้นตอนและรายละเอียดการใช้ FLUENT	79
ภาคผนวก ค. ผลการทดลองลากเรือจำลอง	89
ภาคผนวก ง. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่	92
ประวัติผู้เขียน	102

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 รายละเอียดคุณลักษณะของตัวเรือท้องเดี่ยว	30
4.2 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นของเรือท้องเดี่ยว (Model 1).....	33
4.3 การเปรียบเทียบแบบจำลองเรือท้องคู่	36
4.4 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นของเรือท้องคู่ (Model 2 – Model 4)	41
4.5 ข้อมูลแสดงรายละเอียดของตัวเรือสามท้องจำลอง Model 5	46
4.6 ข้อมูลแสดงรายละเอียดของตัวเรือสามท้องจำลอง Model 6	47
4.7 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นของเรือสามท้อง (Model 5 – Model 6)	47
4.8 สรุปผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน	57
5.1 แสดงระยะห่างระหว่างตัวเรือไตรมารานในแต่ละ Condition	65
5.2 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นของเรือไตรมารานที่ $x/L = -0.25$	65
5.3 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นของเรือไตรมารานที่ $x/L = 0.00$	65
5.4 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นของเรือไตรมารานที่ $x/L = 0.25$	66
6.1 สรุปค่า C_w ที่ต่ำที่สุดในช่วงความเร็วต่างๆ	71
ก-1 พิกัดจากสมการทางคณิตศาสตร์ของตัวเรือ Wigley	77

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงขนาดของโดเมนแบบจำลองและตำแหน่งของเรือไตรมารานในโดเมน	5
2.2 แสดงการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตและขนาดของโดเมนแบบจำลองตัวเรือความเร็วสูง	6
2.3 แสดงการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของโดเมนแบบจำลองตัวเรือคู่	8
3.1 พื้นฐานการออกแบบ แบบสไปรัล (Basic Design Spiral)	11
3.2 การแบ่งส่วนประกอบของแรงต้านทานตัวเรือ	17
3.3 การประมาณค่าเรือจำลองกับเรือจริงด้วยวิธีการตัวประกอบรูปทรง	21
3.4 การติดตั้งตัวเรือจำลองสำหรับทดสอบแรงต้านทานโดยใช้หลักน้ำหนักร่าง	23
4.1 แสดงการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตและขนาดของแบบจำลองถังลากเรือใน CFD	27
4.2 ภาพด้านหน้า (Front view) ของโมเดล C2 ของ Insel และ Molland	28
4.3 ภาพด้านข้าง (Side view) ของโมเดล C2 ของ Insel และ Molland	29
4.4 แสดงลายเส้นตามขวาง (Body plan) ของโมเดล C2 ของ Insel และ Molland	29
4.5 การแบ่งกริดของตัวเรือห้องเดียว	30
4.6 รูปแบบคลื่น (Wave Pattern) ที่เกิดจากเรือห้องเดียวที่ Fn เท่ากับ 0.5	31
4.7 รูปแบบคลื่น (Wave Pattern) ที่เกิดจากเรือห้องเดียวที่ Fn เท่ากับ 0.6	31
4.8 รูปแบบคลื่น (Wave Pattern) ที่เกิดจากเรือห้องเดียวที่ Fn เท่ากับ 0.7	31
4.9 ระดับคลื่น (Wave Contour) ที่เกิดจากเรือห้องเดียวที่ Fn เท่ากับ 0.5	32
4.10 ระดับคลื่น (Wave Contour) ที่เกิดจากเรือห้องเดียวที่ Fn เท่ากับ 0.6	32
4.11 ระดับคลื่น (Wave Contour) ที่เกิดจากเรือห้องเดียวที่ Fn เท่ากับ 0.7	32
4.12 การเปรียบเทียบค่า C_w ที่ได้จากการคำนวณ CFD กับผลการทดลองของ Model 1	34
4.13 แสดงระยะห่างของตัวเรือคู่	34
4.14 ขนาดของแบบจำลองถังลากเรือใน CFD	35
4.15 การแบ่งกริดของตัวเรือห้องคู่ Model 2	35
4.16 การแบ่งกริดของตัวเรือห้องคู่ Model 3	36
4.17 การแบ่งกริดของตัวเรือห้องคู่ Model 4	36
4.18 รูปแบบคลื่น (Wave Pattern) ที่เกิดจากเรือห้องคู่ Model 3 ที่ Fn เท่ากับ 0.5	37
4.19 รูปแบบคลื่น (Wave Pattern) ที่เกิดจากเรือห้องคู่ Model 3 ที่ Fn เท่ากับ 0.6	37
4.20 รูปแบบคลื่น (Wave Pattern) ที่เกิดจากเรือห้องคู่ Model 3 ที่ Fn เท่ากับ 0.7	37
4.21 ระดับคลื่น (Wave Contour) ที่เกิดจากเรือห้องคู่ Model 3 ที่ Fn เท่ากับ 0.5	38
4.22 ระดับคลื่น (Wave Contour) ที่เกิดจากเรือห้องคู่ Model 3 ที่ Fn เท่ากับ 0.6	38

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.23 ระดับคลื่น (Wave Contour) ที่เกิดจากเรือท้องคู้ Model 3 ที่ F_n เท่ากับ 0.7	38
4.24 รูปแบบคลื่น (Wave Pattern) ที่เกิดจากเรือท้องคู้ Model 4 ที่ F_n เท่ากับ 0.5	39
4.25 รูปแบบคลื่น (Wave Pattern) ที่เกิดจากเรือท้องคู้ Model 4 ที่ F_n เท่ากับ 0.6	39
4.26 รูปแบบคลื่น (Wave Pattern) ที่เกิดจากเรือท้องคู้ Model 4 ที่ F_n เท่ากับ 0.7	39
4.27 ระดับคลื่น (Wave Contour) ที่เกิดจากเรือท้องคู้ Model 4 ที่ F_n เท่ากับ 0.5	40
4.28 ระดับคลื่น (Wave Contour) ที่เกิดจากเรือท้องคู้ Model 4 ที่ F_n เท่ากับ 0.6	40
4.29 ระดับคลื่น (Wave Contour) ที่เกิดจากเรือท้องคู้ Model 4 ที่ F_n เท่ากับ 0.7	40
4.30 การแบ่งกริดเหนือแนวน้ำของเรือท้องคู้ Model 3	41
4.31 การแบ่งกริดเหนือแนวน้ำของเรือท้องคู้ Model 4	42
4.32 การแบ่งกริดบริเวณผิวน้ำของเรือท้องคู้ Model 3 ที่ F_n เท่ากับ 0.7	42
4.33 การแบ่งกริดบริเวณผิวน้ำของเรือท้องคู้ Model 4 ที่ F_n เท่ากับ 0.7	42
4.34 การเปรียบเทียบค่า C_w ที่ได้จากการคำนวณ CFD กับผลการทดลองของเรือท้องคู้	43
4.35 แสดงตำแหน่งของตัวเรือหลัก (Main hull) และตัวเรือด้านข้าง (Outrigger)	44
4.36 แสดงระยะห่างของตัวเรือโครมาราน	45
4.37 การทดลองลากเรือจำลองในถังลากเรือ Model 6	45
4.38 การแบ่งกริดของตัวเรือสามห้อง Model 5	46
4.39 การแบ่งกริดของตัวเรือสามห้อง Model 6	46
4.40 รูปแบบคลื่น (Wave Pattern) Model 5 ในช่วง F_n เท่ากับ 0.330 – 0.392	48
4.41 ระดับคลื่น (Wave Contour) Model 5 ในช่วง F_n เท่ากับ 0.330 – 0.392	49
4.42 รูปแบบคลื่น (Wave Pattern) Model 6 ในช่วง F_n เท่ากับ 0.200 – 0.316	50
4.43 รูปแบบคลื่น (Wave Pattern) Model 6 ในช่วง F_n เท่ากับ 0.429 – 0.714	51
4.44 รูปแบบคลื่น (Wave Pattern) Model 6 ในช่วง F_n เท่ากับ 0.772 – 0.829	52
4.45 ระดับคลื่น (Wave Contour) Model 6 ในช่วง F_n เท่ากับ 0.200 – 0.243	52
4.46 ระดับคลื่น (Wave Contour) Model 6 ในช่วง F_n เท่ากับ 0.287 – 0.544	53
4.47 ระดับคลื่น (Wave Contour) Model 6 ในช่วง F_n เท่ากับ 0.658 – 0.829	54
4.48 การเปรียบเทียบค่า C_w ที่ได้จากการคำนวณ CFD กับผลการทดลอง Model 5	55
4.49 การเปรียบเทียบค่า C_w ที่ได้จากการคำนวณ CFD กับผลการทดลอง Model 6	55
4.50 การเปรียบเทียบการเกิดการแทรกสอดของคลื่นใน Model 6	56

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.1 แสดงแนวน้ำออกแบบและกระดุกงของเรือไตรมาราน	60
5.2 แสดงลายเส้นตามขวาง (Body plan) ของตัวเรือหลักใต้แนวน้ำที่ครึ่งความกว้าง	60
5.3 แสดงโมเดลตัวเรือหลักจาก CAD software	61
5.4 แสดงโมเดลตัวเรือไตรมารานจาก CAD software	61
5.5 แสดงการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตและขนาดของแบบจำลองถังลากเรือใน CFD	62
5.6 แสดงตำแหน่งตัวเรือด้านข้างแต่ละ Condition ของเรือไตรมารานครึ่งลำ	64
5.7 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นที่ $lx/L = -0.25$	66
5.8 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นที่ $lx/L = 0.00$	67
5.9 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นที่ $lx/L = 0.25$	67
5.10 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นที่ $ly/L = 0.15$	68
5.11 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นที่ $ly/L = 0.20$	68
5.12 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นที่ $ly/L = 0.25$	69
5.13 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นที่ $ly/L = 0.30$	69
ก-1 แสดงลายเส้นตามขวาง (Body plan) ใต้แนวน้ำที่ครึ่งความกว้าง	76
ก-2 แสดงการสร้างโมเดลด้วยลายเส้นตัวเรือตามขวาง	77
ก-3 แสดงการสร้างกราบเรือให้ตัวเรือมีความลึกเท่ากับ 0.225 เมตร	78
ก-4 แสดงการสร้างตัวเรือด้วยความสมมาตรทั้งตามยาวและตามขวาง	78
ก-5 แสดงการสร้างถังจำลองลากเรือและระยะห่างหัวเรือและทางเข้าของไหล	78
ก-6 แสดงการแบ่งกริดในโปรแกรม ANSYS	79
ค-1 กราฟผลการทดลองลากเรือจำลองเรือท้องเดี่ยว	91
ค-2 กราฟผลการทดลองลากเรือจำลองเรือท้องคู่	91
ค-3 กราฟผลการทดลองลากเรือจำลองเรือสามท้องของ Battistin	92
ค-4 กราฟผลการทดลองลากเรือจำลองเรือสามท้องของ Wang และ Lu	92

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

CFD	วิธีคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics)
CAT	เรือสองห้อง (Catamaran)
FVM	วิธีเชิงตัวเลขแบบปริมาตรจำกัด (Finite Volume Method)
ITTC	International Towing Tank Conference
MONO	เรือห้องเดียว (Monohull)
TRI	เรือสามห้อง, เรือไตรมาราน (Trimaran)
VOF	แบบจำลองปริมาตรของไหล (Volume of Fluid)
(1+k)	ตัวประกอบของรูปทรง
A	พื้นที่ผิวสัมผัส
B	ความกว้างของเรือที่ระดับกินน้ำลึกออกแบบ
C_{AA}	สัมประสิทธิ์แรงต้านทานอากาศ
C_F	สัมประสิทธิ์แรงต้านทานแรงเสียดทาน
C_{FO}	สัมประสิทธิ์แรงต้านทานแรงเสียดทานที่ได้จากการลากแผ่นกระดาน
C_{FORM}	สัมประสิทธิ์แรงต้านทานตัวประกอบของรูปทรง
C_R	สัมประสิทธิ์แรงต้านทานเชิงคลื่น, สัมประสิทธิ์แรงต้านทานที่เหลือ
C_T	สัมประสิทธิ์แรงต้านทานรวม
C_W	สัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่น
F	แรงที่กระทำ
F_n	ฟรูดนัมเบอร์ (Froude Number)
F_{n_h}	ฟรูดนัมเบอร์เชิงลึก (Depth Froude Number)
\bar{F}	แรงกระทำภายนอก
G_1	น้ำหนักถ่วงหลัก
G_2	น้ำหนักถ่วงปรับแต่งตัวเรือ
L	ความยาวตัวเรือ, ขนาดของตัวเรือ, ความยาวเชิงมิติ
M	มวลเชิงมิติ
R	แรงต้านทาน
R_n	เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynolds Number)
R_F	แรงต้านทานแรงเสียดทาน
R_R	แรงต้านทานเชิงคลื่น, แรงต้านทานที่เหลือ
R_T	แรงต้านทานรวม

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

R_w	แรงต้านทานคลื่น
S	พื้นที่ผิวเปียก
S_m	มวลที่เพิ่มขึ้นในเฟสต่อเนื่องจากเฟสที่ 2 และกระจายออก
S_θ	เทอมของต้นกำเนิด
T	เวลาเชิงมิติ, ระยะเวลาที่น้ำลึกของเรือ
U_f	ปริมาตรการไหลตามพื้นผิวจากความเร็วที่เกิดขึ้น
V	ความเร็วเรือ, ความเร็ว, ปริมาตรของเซลล์ (Volume of Cell), ขนาดความเร็ว
V_k	ความเร็วเรืออยู่ในหน่วยของนอต
\bar{V}	ความเร็วเฟส
\bar{b}	ตำแหน่งเวกเตอร์ของจุดศูนย์กลางพื้นผิว
f_1	ฟังก์ชัน 1 อยู่ในรูปฟูรีเยร์
f_2	ฟังก์ชัน 2 อยู่ในรูปเรย์โนลด์ส์
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง
\vec{g}	เวกเตอร์แรงโน้มถ่วง (The Gravity Vector)
$ \vec{g} $	ขนาดแรงโน้มถ่วง (The Gravity Magnitude)
\hat{g}	หน่วยเวกเตอร์ของแรงโน้มถ่วง (The Unit Vector of Gravity)
l_x	ระยะห่างระหว่างกึ่งกลางตัวเรือตามแนวแกน x
l_y	ระยะห่างระหว่างกึ่งกลางตัวเรือตามแนวแกน y
m_{pq}	การส่งผ่านมวลจากเฟส p กับเฟส q
m_{qp}	การส่งผ่านมวลจากเฟส q กับเฟส p
n	ตัวบ่งชี้สำหรับชั้นเวลาก่อนหน้า
$n+1$	ตัวบ่งชี้สำหรับชั้นเวลาปัจจุบัน
p	แรงดัน, ความดัน, ความดันสถิต, แรงที่กระทำต่อหน่วยพื้นที่
p_0	แรงดันรวมที่ทางเข้าสำหรับ Open Channel Flow
p_s	แรงดันสถิต (Static Pressure)
q	ความดันพลศาสตร์ (Dynamic Pressure)
$S_{\alpha q}$	มีค่าเป็น 0 แต่สามารถแทนค่าคงที่หรือกำหนดตามต้นกำเนิดของมวลสำหรับแต่ละเฟส
t	เวลา
\vec{v}	เวกเตอร์ความเร็ว
x	ความยาวจากกลางลำเรือ

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

y	ความกว้างจาก เส้นกึ่งกลางลำเรือ
z	ความลึกจากแนวน้ำ
\emptyset	ตัวแปรเฟส
Δ	ปริมาตรของระวางขับ
ΔC_F	ค่าความหยابพื้นผิวตัวเรือ
α	มุมที่เกิดขึ้นของตัวเรือกับผิวน้ำในการทดสอบเรือจำลอง, สัดส่วนเชิงปริมาตรเฟส
$\alpha_{q,f}$	ค่าพื้นผิว (Face Value) ของการแบ่งสัดส่วนเชิงปริมาตร q^{th}
$\bar{\alpha}$	ตำแหน่งเวกเตอร์ที่จุดอื่นบนพื้นผิวอิสระ
\mathcal{E}	ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน
ζ	พารามิเตอร์ไร้มิติของพิกัด y ตามแกน z
λ_S	อัตราส่วนของเรือจริงกับเรือจำลอง
μ	ความหนืด
ν	ความหนืดเชิงจลน์
ξ	พารามิเตอร์ไร้มิติของพิกัด y ตามแกน x
ρ	ความหนาแน่น, ความหนาแน่นเฟสที่ผสม, ความหนาแน่นของของผสมในเซลล์
ρ_0	คือความหนาแน่นที่อ้างอิง (The Reference Density)
$\bar{\tau}$	เทนเซอร์ความเค้น (Stress Tensor) เทอมการแพร่กระจาย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics) ถูกย่อเป็น CFD ถูกให้นิยามว่า “เป็นเทคโนโลยีการคำนวณ ซึ่งทำให้ง่ายต่อการศึกษากลศาสตร์ต่างๆของการไหล” (Fluent Inc., 2007) [2] ในความหมายกว้างๆ CFD เป็นรูปแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งถูกออกแบบเพื่อง่ายสำหรับผู้ใช้ในการจำลองการไหลของของไหล รอบๆวัตถุหรือผ่านการสร้างแบบจำลองโดยคอมพิวเตอร์ CFD ถูกใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางในหลายๆด้าน รวมถึงในการศึกษานี้ CFD ถูกใช้จำลองการไหลของน้ำและอากาศผ่านตัวเรือไตรมาราน ซึ่งมีความสำคัญในการนำมาวิเคราะห์แรงต้านทานในการออกแบบเรือ เนื่องจากปัจจุบัน การคมนาคมและขนส่งทางทะเลมีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับธุรกิจทุกภาคส่วน โดยการพัฒนาเทคโนโลยีการออกแบบเรือได้พัฒนาให้ตอบสนองต่อความต้องการ การเพิ่มสมรรถนะของเรือเพื่อแข่งขันในเรื่องต้นทุนในการขนส่งและอัตราการคืนทุนของผู้ประกอบการเดินเรือ จึงได้มีการนำเรือไตรมารานมาใช้กันมากขึ้นในต่างประเทศ ไม่ว่าจะเป็นทางด้านพาณิชย์ ได้นำเรือไตรมารานมาใช้ในการขนส่งผู้โดยสารและสินค้า เป็นเรือเดินทางข้ามมหาสมุทร ทางทหาร ก็ได้มีการนำเรือไตรมารานมาทำเป็นเรือรบเช่นกัน ด้วยคุณลักษณะพิเศษของเรือไตรมารานคือ เป็นเรือที่มีความเร็วสูงและพื้นที่การใช้งานในเรือที่มาก มีอัตราการบรรทุกที่ดี เป็นเรือที่ใช้งานได้ในเขตมหาสมุทร มีการทรงตัวและความคงทนทะเลที่ดี ซึ่งแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติที่โดดเด่นของตัวเรือเมื่อนำมาใช้งานและเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เรือไตรมารานถูกนำมาศึกษาในงานวิจัยนี้

ในการออกแบบเรือ ให้สามารถทำความเร็วสูงสุดได้ตามความต้องการ จำเป็นที่จะต้องทราบค่าแรงต้านทานรวม (Total Resistance, R_T) เพื่อใช้หาขนาดของเครื่องยนต์ที่เหมาะสม สำหรับขนาดของเครื่องยนต์ น้ำหนักของเรือและปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการเดินทาง

โดยทั่วไป ผู้ออกแบบจะต้องสร้างเรือจำลองขึ้นมาและทดสอบเรือที่ความเร็วต่างๆ โดยทำการทดสอบใน Towing Tank จะได้ค่าแรงต้านทานรวมที่ถูกต้อง แต่การทดลองนี้มีค่าใช้จ่ายที่สูงและเสียเวลามากในการทดลองแต่ละครั้ง ดังนั้นถ้าการออกแบบด้วย CFD โปรแกรมสามารถนำมาใช้ในการคำนวณแรงต้านทานของตัวเรือได้ จะสามารถประหยัดเวลาและเงินทุนได้ อีกทั้งสามารถเปลี่ยนรูปแบบของเรือ คุณสมบัติทางกายภาพ (สิ่งแวดล้อมและอื่นๆ) การทดลองที่ความเร็วต่างๆ ซ้ำๆ จนกว่าจะได้ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ ได้อย่างรวดเร็วกว่าการทดลองใน Towing Tank

ในการสร้างเรือ ผู้ผลิตสามารถลดต้นทุนทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดลองลากเรือจำลองใน Towing Tank ได้ และยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการออกแบบตัวเรืออีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่ออภิปรายการใช้ CFD ในการศึกษาการไหลของของไหลผ่านตัวเรือไตรมาราน
 - วิธีการในการกำหนดเงื่อนไขค่าขอบเขต
 - การสร้างโมเดลเรือและการกำหนดไฟไนต์เอลิเมนต์เมช (Finite Element Mesh)
 - ปัญหาขอบเขต (Boundary Conditions)
 - การจำลอง CFD
2. วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่น C_w ที่ได้จาก CFD เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองในช่วงความเร็วฟรูดนัมเบอร์ต่างๆ
3. ปรับปรุงพัฒนาการจำลอง CFD ในการหาแรงต้านทานคลื่นของเรือ
4. การใช้ CFD เพื่อวิเคราะห์ผลจากระยะระหว่างตัวเรือของเรือไตรมาราน lx และ ly กับค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่น C_w

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การตั้งสมมติฐานในการทดสอบตัวเรือไตรมาราน โดยใช้การกำหนดสภาวะต่างๆ เหมือนกับการทดสอบตัวเรือ Wigley และเปรียบเทียบค่าแรงต้านทานคลื่นที่ได้จาก CFD กับ ค่าที่ได้จากการทดลองจริง เพื่อยืนยันความถูกต้อง ของการกำหนดสภาวะต่างๆ ในการนำไปใช้กับการทดสอบตัวเรือไตรมาราน ซึ่งน่าจะได้ผลลัพธ์ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองลากเรือใน Towing Tank ใกล้เคียงกัน ดังนั้น ในการศึกษาตัวเรือไตรมาราน เราจึงได้นำการกำหนดสภาวะดังกล่าวมาใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของของไหลผ่านตัวเรือไตรมารานที่ระยะห่างระหว่างตัวเรือต่างๆ ต่อค่าแรงต้านทานคลื่น เพื่อหาระยะที่ดีที่สุดที่ทำให้เกิดแรงต้านทานคลื่นที่น้อยที่สุด

ในการกำหนดสภาวะข้างต้นนี้ เราจะกำหนดให้มีของไหลสองชนิดไหลผ่านตัวเรือ (น้ำและอากาศ) และมีการพัฒนาการของคลื่นที่พื้นผิวสัมผัสระหว่างน้ำและอากาศ เพื่อให้ได้ค่าแรงต้านทานคลื่นที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง โดยทำการตัดเรื่องของการกระทำจากแรงต้านทานแรงเสียดทาน (Viscous Resistance) ออกไป ซึ่งจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของค่าแรงต้านทานคลื่นที่ได้จาก CFD (Pressure Force) มากกว่าค่าที่ได้จากการทดลอง เนื่องจากใน Pressure Force มีแรงต้านทานแรงดันจากความหนืด (Viscous Pressure Resistance) ประกอบอยู่ด้วย ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะใช้ CFD เพื่อพิสูจน์ค่าความคลาดเคลื่อน และใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาการการออกแบบเบื้องต้นของเรือไตรมาราน

1.4 แนวคิดที่ใช้ในการศึกษา

สำหรับอุตสาหกรรมการออกแบบเรือส่วนใหญ่ในประเทศไทย จะอาศัยการซื้อข้อมูลการทดลองตัวเรือ หรือ ส่งตัวเรือจำลองที่ได้จากการออกแบบเบื้องต้น ไปทดสอบที่ต่างประเทศ ซึ่งใช้ระยะเวลาในการทดลองมากและมีค่าใช้จ่ายและต้นทุนที่สูง ซึ่งเมื่อทำการออกแบบเพิ่มเติม มีการแก้ไข และการเปลี่ยนแปลงสถานะในการทำงานของเรือหรือการนำข้อมูลไปใช้ในการออกแบบเรือลำใหม่ ข้อมูลเหล่านี้ ก็ไม่สามารถนำมาใช้ได้ ต้องทำการสร้างโมเดลเพื่อส่งไปทดสอบใหม่ ส่งผลต่อการออกแบบการนำเสนองานต่างๆ วิธีที่จะใช้ในการออกแบบเพื่อทดสอบหาแรงต้านทานของตัวเรือที่ประหยัด รวดเร็ว และได้รับความนิยมมากในปัจจุบันก็คือ การจำลองการไหลผ่านตัวเรือโดยใช้วิธี Computational Fluid Dynamic (CFD) ช่วยให้ผู้ออกแบบรับรู้ถึงพฤติกรรมของการไหลของของไหลเมื่อไหลผ่านตัวเรือ และสามารถปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการออกแบบตัวเรือได้

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

วิธีการใช้โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) โดยการจำลองของไหลผ่านตัวเรือ เมื่อเปรียบเทียบกับหลักการในแบบพื้นฐานคือการทำการทดลองลากตัวเรือจำลอง ในถังทดสอบซึ่งในส่วนของผลลัพธ์ที่ได้นั้นยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง แต่จะใช้เวลาและค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าการใช้วิธีการแบบพื้นฐาน และมีความหลากหลายกว่าสำหรับการปรับเปลี่ยนสถานะในการทดลองต่างๆ ซึ่งในการออกแบบขั้นพื้นฐาน หรือการวิเคราะห์เบื้องต้นอัตราความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแบบพื้นฐาน ถือว่าสามารถใช้งานในการออกแบบเบื้องต้นได้

1.6 ขอบเขตของการศึกษา

ขอบเขตของการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นการพิสูจน์การคำนวณพลศาสตร์ของไหลของเรือท้องเดี่ยว (Model 1) เรือท้องคู่ (Model 2 – 4) ในช่วงความเร็วฟรูดนัมเบอร์ 0.50 – 0.70 และเรือไตรมาราน (Model 5 – 6) ในช่วงความเร็วฟรูดนัมเบอร์ 0.330 – 0.392 และ 0.200 – 0.829 ด้วยโปรแกรมการคำนวณพลศาสตร์ของไหล สำหรับการคำนวณค่าแรงต้านทานคลื่น (Wave Resistance) ของเรือไตรมาราน และในส่วนที่สอง เป็นการทำการจำลองการไหลของของไหลผ่านตัวเรือไตรมาราน (Model 5) ในช่วงความเร็วฟรูดนัมเบอร์ 0.2 – 0.8 ที่ระยะห่างระหว่างตัวเรือไตรมาราน b/L ในช่วง -0.25 ถึง 0.25 และ ly/L ในช่วง 0.15 ถึง 0.30 เพื่อวิเคราะห์ผลที่ได้เปรียบเทียบกับระยะห่างระหว่างตัวเรือที่ดีที่สุดในแต่ละช่วงความเร็วจากการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่น C_w โดยในการจำลองครั้งนี้ ไม่คิดสถานะปฏิกิริยาจากความหนืด (Viscosity) และความตึงพื้นผิว (Surface Tension) และไม่มีผลกระทบจากการจม (Sinkage) และทริม (Trim)

1.7 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ศึกษาหาข้อมูลทฤษฎีแรงต้านทานของเรือ
2. ศึกษาการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ในการวิจัย
3. ศึกษาทฤษฎีการคำนวณพลศาสตร์ของไหล
4. ทำการสร้างแบบจำลอง Wigley Hull และทดสอบตัวเรือที่ความเร็วต่างๆ
5. นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง
6. ทำการสร้างแบบจำลองตัวเรือไตรมารานที่ระยะต่างๆ
7. ทำการทดสอบตัวเรือที่ความเร็วต่างๆ
8. นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบหาระยะห่างระหว่างตัวเรือที่ดีที่สุด
9. สรุปผล วิเคราะห์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาต่อไป

1.8 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาของงานวิจัย วัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา แนวคิดที่ใช้ในการศึกษา การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน ขอบเขตของการศึกษา ขั้นตอนการศึกษา โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

บทที่ 2 กล่าวถึงวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล แรงต้านทานของเรือ และการศึกษาแรงต้านทานของเรือ

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีแรงต้านทานเรือ และ คำจำกัดความและส่วนประกอบต่างๆของแรงต้านทานของเรือ วิธีการทดลองลากเรือจำลอง ทฤษฎีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล

บทที่ 4 กล่าวถึงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณพลศาสตร์ของไหลกับค่าที่ได้จากการทดลองลากเรือจำลอง ในเรือท้องเดียว เรือท้องคู่ และเรือไตรมารานด้วยโปรแกรมการคำนวณพลศาสตร์ของไหล เพื่อยืนยันผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสอดคล้องกับผลการทดลอง สำหรับการหาค่าแรงต้านทานคลื่นของเรือไตรมาราน

บทที่ 5 กล่าวถึงการจำลองตัวเรือ Wigley การกำหนดเงื่อนไขการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล ผลจากการทดสอบตัวเรือไตรมารานที่ระยะห่างตัวเรือต่างๆ และวิเคราะห์ผลการทดลอง

บทที่ 6 กล่าวถึงสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1.9 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้แก่

1. ได้ทราบถึงพฤติกรรมของแรงต้านทานคลื่นที่เกิดจากตัวเรือไตรมาราน
2. ได้ทราบว่า ระยะห่างระหว่างตัวเรือไตรมารานในแนวแกนใด มีผลต่อแรงต้านทานคลื่นมากที่สุด
3. สามารถใช้ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยนี้เป็นแนวทางเพื่อวิเคราะห์หาระยะห่างระหว่างตัวเรือไตรมารานที่สร้างแรงต้านทานคลื่นน้อยที่สุดได้
4. สามารถนำวิธีการดังกล่าวใช้สำหรับการออกแบบเบื้องต้นลดค่าใช้จ่ายและเวลาได้

บทที่ 2

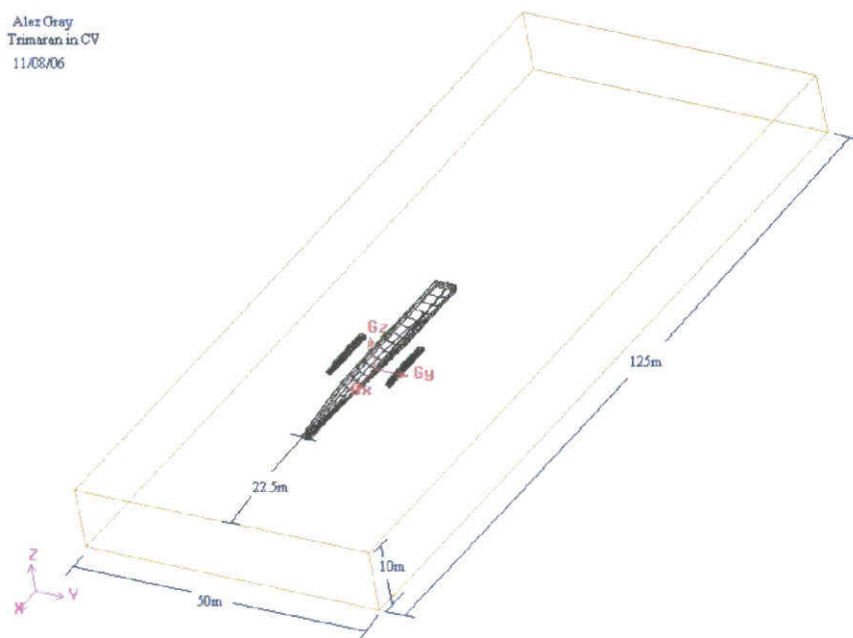
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

การศึกษาการใช้การคำนวณพลศาสตร์ของไหลเพื่อหาแรงต้านทานคลื่นในการศึกษาพฤติกรรมของเรือไตรมารานมีความสำคัญต่อการพัฒนาการ อุตสาหกรรมออกแบบเรือในประเทศ เนื่องจาก การออกแบบเรือในประเทศในระดับสูง (Advanced Marine) ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของการส่งเสริมจากทางภาครัฐและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองที่มีราคาสูง ทำให้การออกแบบหรือศึกษาวิจัยทำในต่างประเทศทั้งสิ้น ขณะที่การใช้การคำนวณพลศาสตร์ของไหล ซึ่งเป็นการจำลองการทดลองได้อย่าง หลากหลายและมีค่าใช้จ่ายต่ำ และเป็นที่ยอมรับมากในต่างประเทศ ดังนั้นการศึกษาการใช้การคำนวณ พลศาสตร์ของไหลในงานวิจัยนี้ จึงมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมออกแบบเรือในประเทศอย่างมาก

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

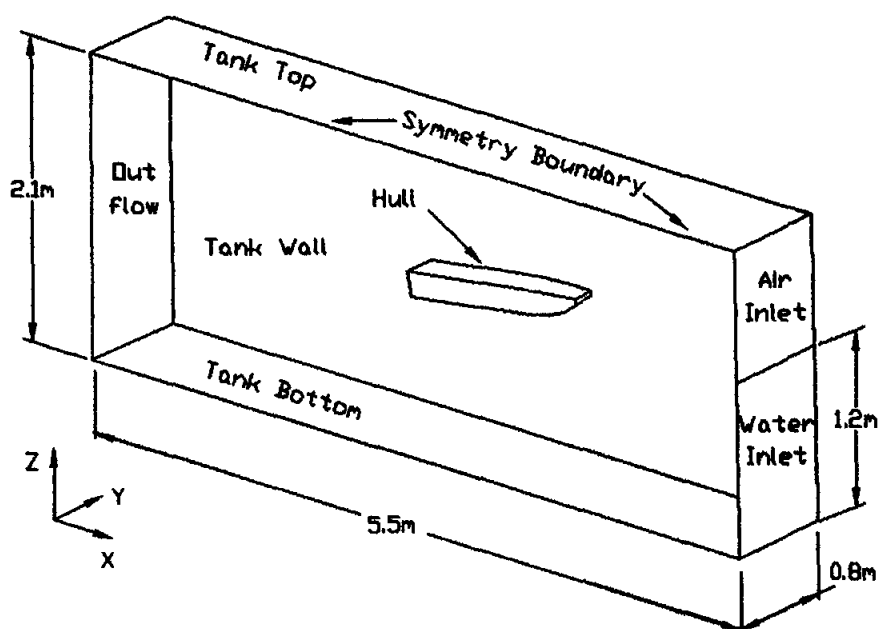
Gray [3] ได้ศึกษาการใช้การคำนวณพลศาสตร์ของไหลสำหรับคำนวณหาแรงต้านทานแรงเสียดทาน (Frictional resistance) เพื่อประเมินค่าที่ได้จากการจำลองการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) ในการพัฒนาการออกแบบตัวเรือไตรมารานมีความเหมาะสมหรือไม่ โดยทำการจำลองตัวเรือ ในส่วนใต้แนวน้ำถึงกระดูกงู เป็นการจำลองการไหลชนิดเดียว (Single phase) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงขนาดของโดเมนแบบจำลองและตำแหน่งของเรือไตรมารานในโดเมน

โดยตัดผลกระทบระหว่างน้ำและอากาศ และการเกิดคลื่นซึ่งเป็นผลกระทบจากแรงต้านทานคลื่น และทำการสร้างโมเดลที่มีจำนวนไฟไนต์อิลเมนต์เมช (Finite element mesh) ไม่เท่ากันเพื่อดูผลกระทบ โดยใช้เมชลักษณะรูปทรงแบบไม่มีโครงสร้างที่แน่นอน (Unstructured mesh) ทำการทดลองที่ความเร็วต่างๆ นำผลลัพธ์ที่ได้เปรียบเทียบกับผลการคำนวณทางทฤษฎี (ITTC 1957 Model-Ship Correlation Line) พบว่า การใช้การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล ในการคำนวณแรงต้านทานแรงเสียดทานมีความซับซ้อนและใช้เวลามากกว่าวิธีการคำนวณทางทฤษฎี จำนวนไฟไนต์อิลเมนต์เมชที่เพิ่มขึ้นให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ลดลง ผลลัพธ์ที่ได้จาก CFD มีความคลาดเคลื่อนสูงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี เนื่องจากความละเอียดไฟไนต์อิลเมนต์เมชไม่เพียงพอ หรือ ความผิดพลาดจากการกำหนดการจำลอง CFD เช่น การเลือกการจำลองการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow model) พื้นฐานในเรื่องของเวลาและความชำนาญที่ใช้เพื่อการพัฒนาการจำลอง CFD อย่างถูกต้อง สรุปลักษณะ CFD มีประสิทธิภาพไม่เพียงพอสำหรับการคำนวณเพื่อหาแรงต้านทานแรงเสียดทานของเรือไตรมาราน

Thornhill และคณะ [4] ศึกษาการใช้ CFD ในการศึกษาพฤติกรรมของตัวเรือความเร็วสูง (Planing Hull) โดยทำการจำลองการไหลผ่านโมเดลเรือความเร็วสูงที่ความเร็วคงที่ ในน้ำที่สงบนิ่งแบบสามมิติ ด้วยโปรแกรม Fluent (v5.3) วิธี Finite Volume Method และใช้การจำลองปริมาตรของไหล (Volume of Fluid หรือ VOF) แบบพื้นผิวอิสระ (Free Surface) ด้วยของไหล 2 เฟส (น้ำและอากาศ) ดังรูปที่ 2.2 รวมถึงการจำลองการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow model)



รูปที่ 2.2 แสดงการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตและขนาดของโดเมนแบบจำลองตัวเรือความเร็วสูง [4]

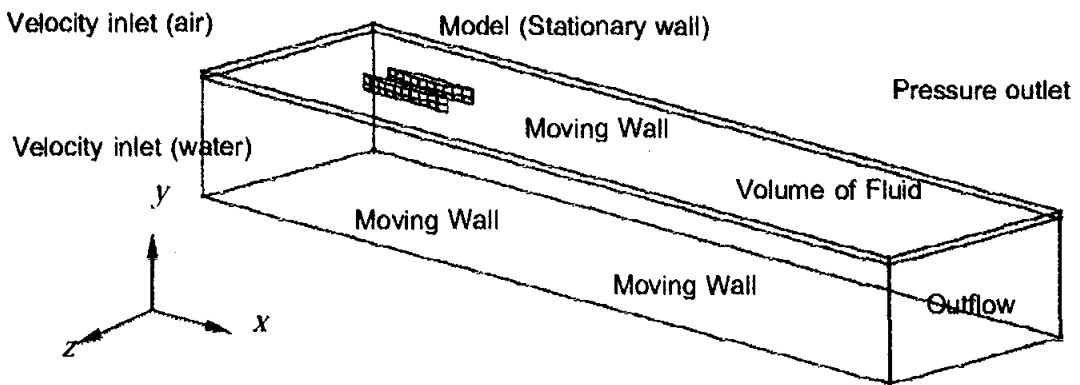
ค่าแรงและโมเมนต์ที่ได้จากการจำลอง นำมาคำนวณด้วยวิธี iterative scheme เพื่อหาดำแหน่งสมดุลสถานะ (Dynamic equilibrium position) ของโมเดลที่ความเร็วที่ต้องการ นำผลการคำนวณ

ที่ได้เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากข้อมูลการทดลองจากการทดสอบโมเดล จากการศึกษาพบว่า สภาวะคงตัวของการไหล (Steady-state flow) สำหรับใช้ในการศึกษาปัญหาครั้งนี้ แต่เพื่อให้ได้ผลสอดคล้องกับความเป็นจริงจำเป็นจะต้องใช้วิธีการคำนวณแบบแปรผันตามเวลา และช่วงเวลา (Time step) ควรมีค่าต่ำประมาณ 0.001 วินาที เพื่อหลีกเลี่ยงความไม่สอดคล้อง (Divergence) ในการคำนวณ สำหรับวิธีการนี้ต้องดำเนินการใช้จำนวนช่วงเวลาประมาณ 2,500 ช่วงเวลา เพื่อให้แนวโน้มแรงดันเสถียร การจำลองการไหลแบบปั่นป่วนแบบ Spalart-Allmaras และ $k - \epsilon$ ไม่สามารถใช้ได้ เพราะบริเวณที่น้ำและอากาศแทรกสอดกันทำให้เกิดความปั่นป่วนบริเวณตัวเรือซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดความไม่สอดคล้อง (Divergence) อย่างรวดเร็ว และเมื่อใช้เมชลักษณะรูปทรงแบบไม่มีโครงสร้างที่แน่นอน (Unstructured mesh) ซึ่งไม่ได้มีผิวอิลิเมนต์ (Element face) ตรงกันกับผิวน้ำ เช่น อิลิเมนต์บริเวณหน้าตัดเริ่มต้นของขอบเขตน้ำและอากาศ แก้ไขโดยการกำหนดให้อิลิเมนต์เหล่านั้นถูกต้องด้วยการแบ่งสัดส่วนเชิงปริมาตร (Volume fraction) ในการเริ่มต้นการคำนวณ

ผลลัพธ์การจำลองตำแหน่งสมดุลสภาวะ จากการยกตัวคงที่ (Balancing lift) และโมเมนต์จากการทริม (Trimming moment) กับน้ำหนักของแบบจำลอง และจุดศูนย์ถ่วง ซึ่งถูกหาได้จากค่าการจม (Sinkage) และมุมจากการทริม (Trim angle) ที่ถูกต้อง ตัวแปรเหล่านี้เป็นเป็นองค์ประกอบในการคำนวณแรงต้านทานได้อย่างถูกต้อง ผลการทดลองด้วยวิธี CFD เปรียบเทียบกับข้อมูลจากการทดลองพบว่าแรงต้านทานคลื่น (Pressure drag) อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้โดยมากกว่าข้อมูลจากการทดลอง 5% และแรงต้านทานแรงเสียดทานน้อยกว่าข้อมูลจากการทดลอง 10% สาเหตุที่เกี่ยวกับการทำให้แรงต้านทานสูงในการจำลอง CFD ไม่สามารถระบุได้ สาเหตุสามารถเกิดจาก ปัญญาการแบ่งกริดไม่เพียงพอ ปัญหาในการเลือกใช้วิธีการจำลองทางคณิตศาสตร์ รวมถึงการศึกษาการใช้กริด (แต่ไม่รวมการศึกษาผลกระทบจากการเพิ่มจำนวนอิลิเมนต์ขนาดใหญ่) และปัจจัยอื่นๆ ที่เป็นตัวแปรที่ไม่เหมาะสมในการจำลองการไหลแบบปั่นป่วนในการทดลองครั้งนี้ การเกิดละอองน้ำยังคงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่เป็นไปได้ ถึงแม้ว่าการใช้วิธีจำลองพื้นผิวอิสระของปริมาตรของไหล (VOF free surface capturing method) ทำให้ของไหลบริเวณใกล้ตัวเรือสามารถผลึกขึ้นมาเหนือพื้นผิวอิสระได้ แต่ไม่สามารถแทนการเกิดละอองน้ำจริงได้ อย่างไรก็ตาม ค่าแรงต้านทานที่สูงคือผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลอง CFD นี้และขั้นตอนสำหรับการศึกษาสมดุลสภาวะ (Dynamic equilibrium) ที่ได้จากการทดลองนี้ประสบผลสำเร็จ

กิตติภูมิ และคณะ [5] ได้ใช้ CFD จำลองการไหลผ่านตัวเรือคู่เพื่อวิเคราะห์แรงต้านทานและรูปแบบคลื่นที่เกิดจากเรือในย่านการใช้งานสำหรับเรือโดยสารในแม่น้ำเจ้าพระยา โดยพิจารณาการไหลแบบมีความหนืด (Viscous model) ประกอบกับการเปลี่ยนแปลงที่ผิวน้ำ โดยใช้แบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence model) แบบ $k - \epsilon$ มาตรฐานร่วมกับแบบจำลองปริมาตรของไหล (Volume of fluid หรือ VOF) แบบ Implicit scheme สำหรับการเปลี่ยนแปลงที่ผิวน้ำและสมบัติการไหลอื่นๆ ของแต่ละปริมาตรควบคุม ด้วยของไหล 2 เฟส (น้ำและอากาศ) โดยกำหนดให้น้ำไหลผ่านตัวเรือซึ่งอยู่กับที่และไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ดังรูปที่ 2.3 การแบ่งกริดใช้รูปทรงหกหน้า

(Hexahedron) เซิงโครงสร้างปกติ (Structured grid) แบบ Map scheme เพื่อหลีกเลี่ยงการแบ่งกริดคร่อมแนวน้ำซึ่งจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการกำหนดค่าเริ่มต้นของสัดส่วนปริมาตร (Volume fraction) ในแบบจำลอง VOF โดยปริมาตรควบคุมมีความละเอียดมากที่สุดบริเวณผิวตัวเรือและผิวน้ำ จากนั้นการแบ่งกริดจะหยาบขึ้นเมื่อห่างออกไป ผลการวิจัยพบว่า แรงต้านทานรวมที่ได้จากการจำลองทาง CFD มีความคลาดเคลื่อนมากกว่าค่าที่ได้จากการทดลองลากเรือ เป็นค่าคงที่ 0.5 เท่าของผลการจำลองทาง CFD ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากการแบ่งกริดบริเวณใกล้แนวน้ำมีความละเอียดไม่เพียงพอ



รูปที่ 2.3 แสดงการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของโดเมนแบบจำลองตัวเรือคู่

เนื่องจากแบบจำลอง Implicit VOF จะให้ปริมาตรควบคุมสัดส่วนของน้ำเป็น 1 หรือ 0 เท่านั้น ตลอดจนแบบจำลองการไหลปั่นป่วน $k - \epsilon$ แบบมาตรฐานใช้ Wall function ในการหาผลเฉลยบริเวณใกล้ผิวตัวเรือซึ่งอาจทำให้เกิดการประมาณค่าเกินความจริงได้ เช่นเดียวกับกับค่าแรงต้านทานแรงเสียดทานและแรงต้านทานคลื่น ค่าที่ได้มีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการทดลองลากเรือ เป็นค่าคงที่ประมาณ 0.5 เท่าของผลการจำลองทาง CFD และการจำลองการเกิดคลื่นพบว่าความสูงของสันคลื่นที่หัวเรือและท้องคลื่นที่ท้ายเรือมีขนาดน้อยกว่าผลการทดลองประมาณ 15% โดยมีลักษณะการเกิดคลื่นตามตัวเรือด้านนอกคล้ายกัน จากผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่า แบบจำลอง CFD ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีความเหมาะสมในการนำไปใช้วิเคราะห์แรงต้านทานและรูปแบบคลื่นที่เกิดจากเรือแบบตัวเรือคู่ที่ใช้งานจริงในย่านความเร็วสูงได้ และเพื่อให้ผลที่แม่นยำมากขึ้น ควรมีการศึกษาวิจัยในด้านการแบ่งกริดที่เหมาะสมตลอดจนการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สูงขึ้นเพื่อให้ได้ผลใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

Maki และคณะ [6] ได้ศึกษาการคำนวณแรงต้านทานสำหรับเรือไตรมารานความเร็วสูง (High-Speed Sealift Trimaran) โดยเปรียบเทียบความแตกต่างของ 2 วิธีสำหรับการประมาณแรงต้านทานของเรือไตรมารานในน้ำนิ่ง การทดสอบแบบจำลองของตัวเรือสามท้องที่มีความแตกต่างกัน 6 แบบ (เปลี่ยนแปลงความกว้างและความยาวของเรือ) ด้วยทฤษฎี Thin Ship Theory และการใช้

CFD โค้ด Fluent กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ RANS (Raynolds-Averaged Navier-Stokes) โดยใช้วิธีการจำลองพื้นผิวอิสระ (Free surface) แบบ Level – set และแบบจำลองปริมาตรของไหล (VOF) ทำการ discretize เทเซชันแบบ QUICK scheme ซึ่งโดยทั่วไปให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำสำหรับการแบ่งกริดแบบเชิงโครงสร้างปกติ (Structured grid) ตามทิศทางการไหล สำหรับในกริดแบบไม่มีโครงสร้างที่แน่นอน วิธีการนี้จะกลับสู่วิธีการประมาณค่าแบบ Upwind อันดับที่สอง (Second-order upwind method) และ discretize เทเซชันแบบ High-resolution interface capturing (HRIC) สำหรับสมการสัดส่วนปริมาตร (Volume fraction equation) แบบจำลองความปั่นป่วนใช้แบบจำลอง Wilcox’s modified k-omega Model จำลองแบบสภาวะไม่คงตัวในช่วงเวลา แบบผลต่างย้อนหลังอันดับที่สอง (Second-order backward difference) ผลลัพธ์จากการใช้ Thin Ship Theory พบว่าให้ค่าใกล้เคียงและเส้นกราฟแรงต้านทานรวมเป็นแนวเดียวกันโดยใช้ค่ารูปทรงความเสียดทานตัวเรือ (Frictional form factor, f_r) ประมาณ 1.2 และยังให้แนวโน้มที่ใกล้เคียงกับการใช้การคำนวณด้วย CFD ความแม่นยำของผลลัพธ์จาก CFD มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกับการทดลองลากเรือน้อยกว่า 2% และค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 4% โดยการใช้ค่าการจม (Sinkage) และการทริม (Trim) จากการทดลองลากเรือ การปรับระยะตัวเรือด้านข้างตามยาวกับตัวเรือ (Sidehull Stagger) สามารถลดแรงดูดรวม (Total drag) 43% การศึกษานี้ยังไม่ชัดเจนถึงผลจากระยะตัวเรือด้านข้างตามขวางกับตัวเรือ (Sidehull spacing) ที่ให้ค่าแรงต้านทานที่น้อยที่สุด

การวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการใช้การคำนวณพลศาสตร์ของไหลในการวิจัยหาแรงต้านทานตัวเรือได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วและใช้กับตัวเรือที่มีความซับซ้อนมากขึ้นได้อย่างดี แต่ยังคงมีการใช้ผลการทดลองลากเรือเข้ามาร่วมด้วยเพื่อให้ผลที่แม่นยำมากขึ้น เช่น ค่าการจม (Sinkage) มุมจากการทริม (Trim angle) และค่ารูปทรงความเสียดทานตัวเรือ (Frictional form factor) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะศึกษาการใช้การคำนวณพลศาสตร์ของไหลหาแรงต้านทานคลื่นของเรือไตรมาราน โดยตัดผลจากการจมและการทริม ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการทดลองลากเรือ เพื่อเป็นการพัฒนาการออกแบบในขั้นต้น (Preliminary design) ที่มีค่าใช้จ่ายต่ำและเวลาน้อย และศึกษาถึงผลกระทบของระยะห่างระหว่างตัวเรือต่อแรงต้านทานคลื่นที่เกิดขึ้น ในส่วนการนำไปใช้หาแรงต้านทานรวม จากงานวิจัยที่ผ่านมาสามารถนำวิธีการหาแรงต้านทานแรงเสียดทานจากการคำนวณทางทฤษฎี (ITTC 1957 Model-Ship Correlation Line) ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงและเวลาน้อย มาใช้ร่วมกับการคำนวณพลศาสตร์ของไหลในการหาแรงต้านทานคลื่นในงานวิจัยนี้ได้ต่อไป

บทที่ 3

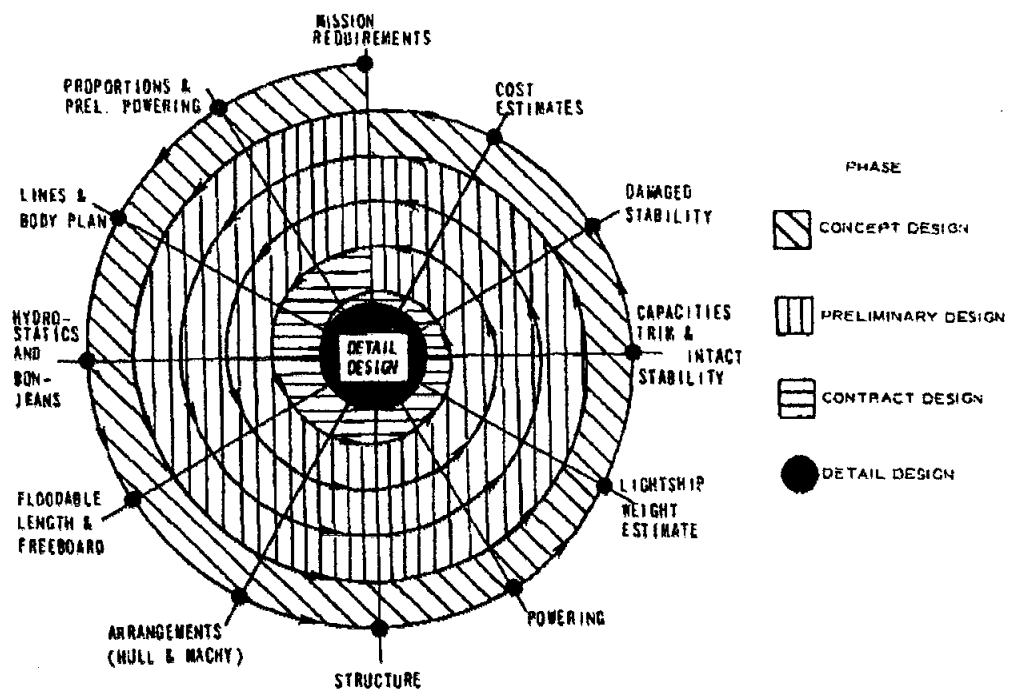
ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีทางเรือ คำจำกัดความ และส่วนประกอบต่างๆของแรงต้านของเรือ วิธีการทดลองลากเรือจำลอง และทฤษฎีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล ซึ่งเนื้อหาทั้งหมดนี้จำเป็นสำหรับการใช้ในการศึกษาพฤติกรรมและการประเมินประสิทธิภาพของการจำลองทางพลศาสตร์ของไหลของเรือไตรมาราน

3.1 แรงต้านทานตัวเรือ

3.1.1 บทนำ (Introduction)

การออกแบบเรือใช้หลักการออกแบบ แบบสไปรัล (Design Spiral) ซึ่งเป็นกรรมวิธีซ้ำแล้วซ้ำอีก (Iterative Process) จากความต้องการตามภารกิจจนถึงการออกแบบรายละเอียดมีปัจจัยของการดำเนินงาน เพื่อให้ได้เรือตามที่ต้องการจะต้องเริ่มต้นจากการออกแบบขั้นพื้นฐาน (Basic Design) ซึ่งประกอบด้วยแนวทางการออกแบบ (Concept Design) และการออกแบบเบื้องต้น (Preliminary Design) ที่จะนำไปสู่การออกแบบสำหรับทำสัญญา (Contract Design) และการออกแบบสำหรับการต่อเรือ (Detail Design) มีลักษณะการทำงานตามรูปที่ 3.1 พื้นฐานการออกแบบแบบสไปรัล (Basic Design Spiral)



รูปที่ 3.1 พื้นฐานการออกแบบ แบบสไปรัล (Basic Design Spiral) [7]

ในการวิจัยนี้ เป็นการศึกษาการดำเนินการในการออกแบบตัวเรือไตรมารานเพื่อหาแรงต้านทานคลื่นของตัวเรือ ในขั้นตอนการออกแบบเบื้องต้น (Preliminary Design) ในหัวข้อ การกำหนดขนาดและมิติของเรือในการคำนวณหาแรงต้านทานของเรือเบื้องต้น (Proportions & Preliminary Powering) ที่จะต้องตอบสนองความต้องการได้อย่างครบถ้วน เพื่อใช้ในการออกแบบระบบขับเคลื่อนต่อไป

3.1.2 การวิเคราะห์เชิงมิติ (Dimensional Analysis)

1. ความคล้ายเชิงมิติ การวิเคราะห์เชิงมิติใช้หลักการพื้นฐานของสมการต่างๆ ซึ่งมีความสัมพันธ์ทางกายภาพอย่างชัดเจนที่เป็นความคล้ายเชิงมิติ (Dimensional Homogeneity) ในรูปของ 3 ปริมาณพื้นฐานทางกลศาสตร์ คือ มวล (Mass) ความยาว (Length) และเวลา (Time) ซึ่งสามารถแทนด้วยสัญลักษณ์ M, L และ T ปริมาณอื่นๆ เช่น แรง (Force) ความหนาแน่น (Density) และ แรงดัน (Pressure) ที่มีความสัมพันธ์เชิงมิติจาก 3 ปริมาณพื้นฐานทางกลศาสตร์ด้วยเช่นกัน

ตัวแปรความเร็วพบว่าสามารถที่จะแบ่งได้เป็น ความยาวหรือระยะทาง ต่อเวลา ซึ่งจะอยู่ในรูปเชิงมิติเป็น L/T ตัวแปรความเร่ง (Acceleration) ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วในช่วงเวลาสามารถเขียนให้อยู่ในรูปเชิงมิติเป็น (L/T)/T หรือ L/T^2 ตัวแปรแรง ซึ่งเกิดจากมวลและความเร่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปเชิงมิติได้เป็น $M \times L/T^2$ หรือ ML/T^2

สำหรับการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์เชิงมิติในการวิเคราะห์แรงต้านทานตัวเรือ สามารถกำหนดให้แรงต้านทาน (Resistance, R) เปลี่ยนไปตามตัวแปรต่อไปนี้

- (1) ความเร็ว (Speed, V)
- (2) ขนาดของตัวเรือ ซึ่งสามารถแทนด้วยมิติเชิงเส้น (Linear Dimension, L)
- (3) ความหนาแน่นของมวลของไหล (Mass density of Fluid, ρ)
- (4) ความหนืดของของไหล (Viscosity, μ)
- (5) ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (Acceleration due to gravity, g)
- (6) แรงดันต่อหน่วยพื้นที่ในของไหล (Pressure per unit area in fluid, p)

ตัวแปรเหล่านี้สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของแรงต้านทานในเทอมของแรงต้านทานที่ไม่ทราบค่าของตัวแปรเหล่านี้ได้ดังสมการต่อไปนี้ [8]

$$R \propto \rho^a V^b L^c \mu^d g^e p^f \quad (3.1)$$

เนื่องจาก R อยู่ในรูปของแรง หรือเกิดจากมวลและความเร่ง สามารถเขียนให้อยู่ในรูปเชิงมิติได้เป็น ML/T^2 และความหนาแน่น ρ เกิดจากมวลต่อหน่วยปริมาตร หรือ M/L^3

ในการเคลื่อนที่ในของไหลที่มีความหนืด แรงต้านทานที่เกิดขึ้นใกล้เคียงบริเวณชั้นของการไหลสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามพื้นที่ A ในการสัมผัส สัมประสิทธิ์ความหนืดของของเหลวขึ้นอยู่กับอัตรา

ที่แต่ละชั้นของไหลที่เคลื่อนที่สัมพันธ์กับชั้นการไหลอื่น ถ้า u คือความเร็วที่ระยะ y จากขอบเขตของของไหล อัตราและทิศทางความเร็วสามารถแสดงให้อยู่ในรูปของ du/dy ดังนั้นแรงที่กระทำรวมสามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการดังนี้

$$F = \mu A du/dy \quad (3.2)$$

du/dy คือความเร็วที่เปลี่ยนไปตามระยะทาง สามารถเขียนให้อยู่ในรูปเชิงมิติของ $(L/T)/L$ หรือ $1/T$ และสมการเชิงมิติจะอยู่ในรูปของสมการดังนี้

$$ML/T^2 = \mu L^2 \times 1/T$$

หรือ
$$\mu = M/LT \quad (3.3)$$

ρ คือแรงที่กระทำต่อหน่วยพื้นที่ และรูปเชิงมิติคือ $(ML/T^2)/L^2$ หรือ M/LT^2 อัตราส่วนระหว่าง μ/ρ เรียกว่า ความหนืดเชิงจลน์ (Kinematic Viscosity, ν) ของเหลวและสมการเชิงมิติจะอยู่ในรูปของสมการดังนี้

$$\nu = \mu/\rho = (M/LT) \cdot (L^3/M) = L^2/T \quad (3.4)$$

จากสมการเชิงมิติเหล่านี้ แทนค่าในสมการ (3.1) จะได้สมการในรูป

$$ML/T^2 = (ML^3)^a (L/T)^b (L)^c (M/LT)^d (L/T^2)^e (M/LT^2)^f \quad (3.5)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{จาก} \\ a + d + f = 1 \\ -3a + b + c - d + e - f = 1 \\ b + d + 2e + 2f = 2 \end{array} \right\}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{หรือ} \\ a = 1 - d - f \\ b = 2 - d - 2e - 2f \end{array} \right\}$$

$$\begin{aligned} \text{และ} \quad c &= 1 + 3a - b + d - e + f \\ &= 1 + 3 + 3d - 3f - 2 + d + 2e + 2f + d - e + f \\ &= 2 - d + e \end{aligned}$$

ฉะนั้นสมการ (3.1) จะได้เป็น

$$R \propto \rho V^2 L^2 f \left[\left(\frac{\rho VL}{\mu} \right)^d \left(\frac{gL}{V^2} \right)^e \left(\frac{p}{\rho V^2} \right)^f \right] \quad (3.6)$$

จากสมการ (3.6) จะได้ 3 เทอมในวงเล็บซึ่งเป็นเทอมไร้มิติ และด้วยเหตุนี้ทำให้เลขชี้กำลัง d, e และ f ไม่ถูกจำกัดเชิงมิติด้วย ในรูปของฟังก์ชัน f จะสามารถหาความสัมพันธ์ได้จากการทดลอง และจะมีความแตกต่างกันในแต่ละเทอม

เมื่อ v สามารถเขียนแทน μ/ρ และจากความคล้ายของรูปทรงเชิงมิติของผิวเปียก (Wetted Surface, S) ที่เขียนในรูปเชิงมิติได้ L^2 ทำให้สมการ (3.6) สามารถเขียนอยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

$$\frac{R}{\frac{1}{2}\rho SV^2} = f \left[\frac{VL}{v}, \frac{gL}{V^2}, \frac{p}{\rho V^2} \right] \quad (3.7)$$

เมื่อเทอมด้านซ้ายของสมการ (3.7) คือสัมประสิทธิ์แรงต้านทานในรูปไร้มิติ โดยทั่วไปในบทนี้ R จะอยู่ในหน่วยของ kN และ ρ ในหน่วยของ kg/L (หรือ t/m^3) ถึงแม้ว่า N และ kg/m^3 จะถูกใช้บ่อยๆ โดยทั่วไป ในกรณีของการศึกษาแรงต้านทานของโมเดลและเรือ แรงต้านทานจากอากาศและลม

จากสมการ (3.7) แสดงให้เห็นถึงผลกระทบต่างๆ ถ้าตัวแปรทั้งหมดด้านขวาของสมการ มีค่าเท่ากันสำหรับเรือที่มีขนาดรูปทรงคล้ายคลึงกัน แต่มีขนาดตัวเรือที่แตกต่างกัน รูปแบบการไหลจะคล้ายคลึงกันและค่าในเทอมด้านซ้ายของสมการจะได้ค่าเท่ากันในแต่ละขนาด

2. ความเร็วสมนัย (Corresponding Speed) สมการ (3.7) ได้แสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบของแรงต้านทานรวมของเรือซึ่งเปลี่ยนแปลงตามปริมาณตัวแปรทางกายภาพต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งความสัมพันธ์นี้อยู่ใน 3 เทอม คือ VL/v , gL/V^2 และ $p/\rho V^2$

เมื่อพิจารณาในกรณีแรกของของไหลที่ไม่มีความหนืดซึ่งในที่นี้จะไม่มีการเสียดทานจากความฝืด หรือ แรงต้านทานจากความหนืดอื่นๆ และทำการละเทอมสุดท้าย จะได้ตัวแปร gL/V^2 ที่ควบคุมระบบพื้นผิวคลื่น ซึ่งขึ้นกับแรงโน้มถ่วง และสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของแรงต้านทานเชิงคลื่น หรือ แรงต้านทานที่เหลือ (Wave-making or residuary resistance, R_R) และจะได้สัมประสิทธิ์ที่คล้ายกันคือ C_R และ C_R สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการดังนี้

$$C_R = \frac{R_R}{\frac{1}{2}\rho SV^2} = f_1 \left(\frac{V^2}{gL} \right) \quad (3.8)$$

ความหมายของการจำลองทางเรขาคณิต (Geosims) ที่มีรูปทรงที่คล้ายคลึงกัน และมีความแตกต่างกันของขนาด จะให้คุณลักษณะของสัมประสิทธิ์แรงต้านทานที่เหลือ (C_R) ที่เหมือนกัน สำหรับการเคลื่อนที่ ที่ตัวแปร V^2/gL มีค่าเท่ากัน

จากกฎการเปรียบเทียบของฟรูด (Froude's Law of Comparison) แรงต้านทาน (ที่เหลือ) ของเรือที่มีรูปทรงคล้ายคลึงกัน อยู่ในอัตราส่วนของกำลังสามของมิติเชิงเส้น ถ้าให้ความเร็วเป็นอัตราส่วนของรากที่สองของมิติเชิงเส้น เช่นนั้นความเร็วจะถูกเรียกว่า ความเร็วสมนัย ที่เป็นที่รู้จักกัน ซึ่งความเร็วสมนัยกำหนดให้ V/\sqrt{L} มีค่าเท่ากันทั้งในเรือจำลองและเรือจริง ที่มีสถานะเหมือนกันดังสมการ (3.8) อัตราส่วน V_k/\sqrt{L} โดยทั่วไป V_k อยู่ในหน่วยของนอต (knots) และ L ในหน่วยของฟุต (feet) มักจะถูกเรียกว่าอัตราส่วนความเร็วกับความยาว (Speed-length Ratio) อัตราส่วนนี้มักใช้บ่อยในการนำเสนอข้อมูลแรงต้านทาน เพราะมีความสะดวกในการประเมินค่าทางตัวเลขของแรงต้านทาน แต่ข้อเสียคือไม่เป็นตัวแปรไร้มิติ ค่าของ V/\sqrt{gL} ในส่วนอื่นเป็นตัวแปรไร้มิติและค่าตัวเลขที่เหมือนกันในระบบหน่วยที่สอดคล้องกัน ด้วยสาเหตุของกลุ่มที่มีความคิดที่ใกล้เคียงกับของฟรูดกับแนวคิดของอัตราส่วนความเร็วกับความยาว ทำให้เทอมของ V/\sqrt{gL} จึงถูกเรียกว่า ฟรูดนัมเบอร์ (Froude Number) และแทนด้วยสัญลักษณ์ Fn

เมื่อ V_k จะอยู่ในหน่วยของนอต (knots) L จะอยู่ในหน่วยของฟุต (feet) และ g จะอยู่ในหน่วยของฟุตต่อวินาทีกำลังสอง (ft/sec^2) ความสัมพันธ์ระหว่าง V/\sqrt{L} และเลขฟรูด จะได้เป็น

$$Fn = 0.298 V_k / \sqrt{L} \quad (3.9)$$

หรือ
$$V_k / \sqrt{L} = 3.355 Fn \quad (3.10)$$

แรงต้านทานที่เหลือของเรือ (R_{RS}) และของเรือจำลอง (R_{RM}) จากสมการ (3.8) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปอัตราส่วนได้เป็น

$$\frac{R_{RS}}{R_{RM}} = \frac{\frac{1}{2} \rho S_S V_S^2 C_{RS}}{\frac{1}{2} \rho S_M V_M^2 C_{RM}} \quad (3.11)$$

เมื่ออักษรห้อย (Subscript) s และ m แทนความหมายของเรือจริงและเรือจำลองตามลำดับ

ถ้าทั้งเรือจำลองและเรือจริงสามารถเล่นในน้ำที่มีความหนาแน่นเดียวกันและที่ค่า V^2/gL เท่ากัน ดังสมการ (3.8) จะได้สมการคือ

$$(V_S)^2/gL_S = (V_M)^2/gL_M \quad (3.12)$$

เมื่อ C_R มีค่าเท่ากันทั้งเรือจริงและเรือจำลองและ

$$R_{RS}/R_{RM} = S_S(V_S)^2/S_M(V_M)^2 = (L_S)^2/(L_M)^2 \cdot L_S/L_M = (L_S)^3/(L_M)^3 = \Delta_S/\Delta_M \quad (3.13)$$

เมื่อ Δ_S และ Δ_M คือปริมาตรของระวางขับของเรือจริงและเรือจำลองตามลำดับ

จากสมการ (3.13) เป็นที่ยอมรับร่วม ในกฎการเปรียบเทียบของฟรูด และจากสมการนี้ที่ความเร็วสมนัย คือ ค่าของ V/\sqrt{L} เท่ากัน จะเท่ากับ

$$R_{RS}/\Delta_S = R_{RM}/\Delta_M \quad (3.14)$$

นั่นคือแรงต้านทานที่เหลือต่อหน่วยปริมาตรของระวางขับของเรือ จะมีค่าเท่ากันทั้งเรือจำลองและเรือจริง เทย์เลอร์ใช้สมการนี้ในการนำเสนอลักษณะของแรงต้านทานที่เหลือในเทอมของแรงต้านทานปอนด์ต่อลองตันของระวางขับน้ำของเรือ [8] ถ้าอัตราส่วนของเรือจริงกับเรือจำลองคือ λ_S จะสามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ได้ดังต่อไปนี้

$$L_S/L_M = \lambda_S$$

$$V_S/V_M = \sqrt{L_S}/\sqrt{L_M} = \sqrt{\lambda_S} = \lambda_S^{1/2} \quad (3.15)$$

$$R_{RS}/R_{RM} = (L_S)^3/(L_M)^3 = \Delta_S/\Delta_M = \lambda_S^3$$

“ความเร็วสมนัย” สำหรับเรือจำลองขนาดเล็กจะต่ำกว่าเรือจริง ในกรณีที่เรือจำลองมีขนาด 5 เมตร จากเรือจริงซึ่งมีขนาด 125 เมตร (อัตราส่วนของ $\lambda_S = 25$) ความเร็วสมนัยของเรือจำลอง เมื่อเรือจริงมีความเร็ว 25 นอต คือ $25/\lambda_S^{1/2}$ หรือ $25/\sqrt{25}$ หรือ 5 นอต กรณีนี้เป็นความพิเศษมาก ซึ่งเป็นเหตุผลในการสร้างเรือจำลองย่อส่วนและสามารถทดสอบที่ความเร็วที่ทำได้ง่ายในการทดลองในอ่างทดลอง

ในกรณีของตัวเรือใต้แนวน้ำที่ลึก ซึ่งไม่เกิดคลื่น เทอมแรกในสมการ (3.7) เป็นเทอมที่ควบคุมแรงต้านทานแรงเสียดทาน (Frictional Resistance, R_F) สัมประสิทธิ์แรงต้านทานแรงเสียดทานคือ

$$C_F = \frac{R_F}{\frac{1}{2}\rho S V^2} = f_2\left(\frac{VL}{v}\right) \quad (3.16)$$

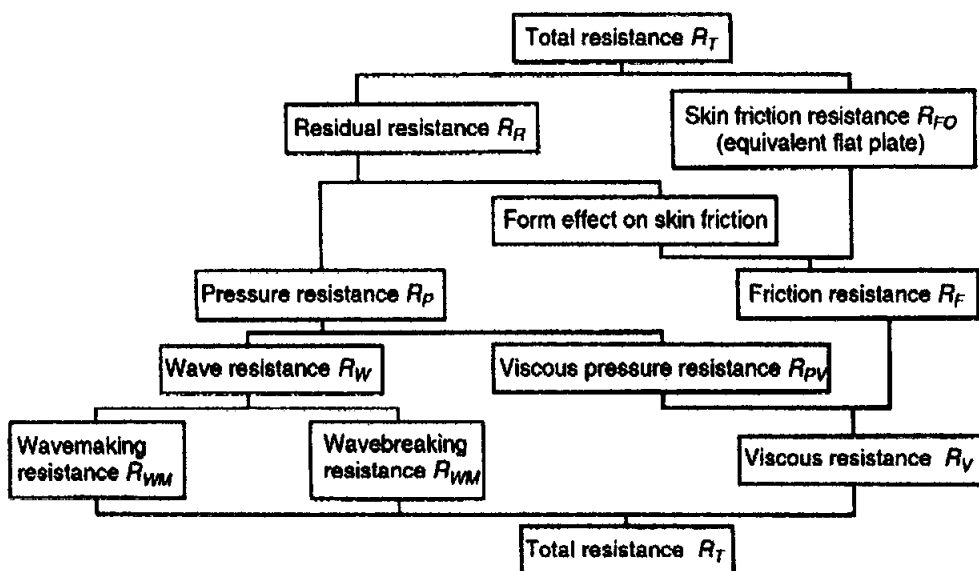
และ C_F มีค่าเท่ากันทั้งเรือจำลองและเรือจริง และจะให้ค่า VL/v ที่เท่ากันด้วย ตามพื้นฐานจากงานวิจัยของ Osborne Reynolds [9] ซึ่งเป็นเหตุให้เทอมของ VL/v เป็นที่รู้จักกันในชื่อ เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynolds Number) แทนด้วยสัญลักษณ์ Rn

ถ้าให้ทั้งตัวเรือจำลองและเรือจริงแล่นในน้ำที่ความหนาแน่นและอุณหภูมิของน้ำเท่ากัน โดยที่ v มีค่าเท่ากัน และจากสมการ (3.16) ซึ่ง $V_{S-L} = V_{M-L-M}$ ในกรณีนี้มีความแตกต่างจากลักษณะที่สำคัญของกรณีความคล้ายคลึงของแรงต้านทานเชิงคลื่น (Wave-making Resistance Similarity) คือในเรือจำลองที่มีขนาดเล็กกว่า แต่ความเร็วในการทดลองกลับเพิ่มขึ้น ซึ่งในกรณีที่ยกตัวอย่างก่อนหน้านี้ เรือจำลองขนาด 5 เมตรและเรือจริงขนาด 125 เมตร ที่ความเร็วเรือจริง 25 นอต จะต้องทำการทดลองเรือจำลองที่ความเร็ว 625 นอต

วิธีที่ใช้จริงกับหลักการเบื้องต้นที่เป็นอุปสรรคในการทดสอบเรือจำลอง คือการทำการแบ่งแรงต้านทานแรงเสียดทานและแรงต้านทานเชิงคลื่นออก โดยเขียนอยู่ในรูปสมการดังนี้

$$C_T = C_R + C_F \tag{3.17}$$

เนื่องจากแรงต้านทานของเรือจริงไม่สามารถวัดค่าได้โดยตรง ความรู้ความเข้าใจส่วนใหญ่เกี่ยวกับแรงต้านทานตัวเรือจึงมาจากการทดสอบเรือจำลอง แรงต้านทานในน้ำนิ่งที่วัดได้โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้หลายส่วนประกอบ ถึงแม้ว่าส่วนประกอบเหล่านี้ยังมีผลกระทบต่อกันและส่วนใหญ่ส่วนประกอบเหล่านี้ไม่สามารถแยกวัดได้ แนวความคิดในการแยกส่วนประกอบของแรงต้านทานเพื่อช่วยในการออกแบบรูปทรงตัวเรือเพื่อให้ผู้ออกแบบสามารถกำหนดส่วนที่มีอิทธิพลของแรงต้านทานแต่ละชนิดได้ Larsson และ Baba [10] ได้อธิบายคร่าวๆ อย่างครอบคลุมสำหรับวิธีสมัยใหม่ในการแบ่งส่วนประกอบของแรงต้านทานตัวเรือ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.2 การแบ่งส่วนประกอบของแรงต้านทานตัวเรือ [11]

โดยที่แรงต้านทานรวมของตัวเรือในน้ำนิ่ง (Total Calm-water Resistance of a Ship) สามารถแบ่งได้เป็น แรงต้านทานแรงเสียดทาน (Friction Resistance) แรงต้านทานแรงดันจากความหนืด (Viscous Pressure Resistance) และ แรงต้านทานคลื่น (Wave Resistance) ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่จะทำการศึกษาในงานวิจัยนี้

จากสมการ (3.7) สามารถเขียนสมการ (3.17) ในรูปสมการดังนี้

$$C_T = \frac{R_T}{\frac{1}{2}\rho S V^2} = f_1 \left(\frac{V^2}{gL} \right) + f_2 \left(\frac{VL}{v} \right) \quad (3.18)$$

วิธีการของฟรูดได้เป็นที่ยอมรับว่าเป็นสิ่งที่จำเป็นและถูกใช้เป็นวิธีการในการทดสอบเรือจำลอง ทำให้เข้าใจถึงแรงต้านทานแรงเสียดทานและแรงต้านทานที่เหลือ (Frictional and Residuary Resistance) ซึ่งไม่สามารถหาได้โดยใช้กฎเดียวกัน ถึงแม้ว่าจะไม่ทราบถึงความสัมพันธ์ของสมการ (3.16) มาก่อน

3.1.3 แรงต้านทานแรงเสียดทาน (Frictional Resistance)

1. กล่าวนำ เมื่อมองดูจากคาน้ำเรือไปที่ทะเลจะสามารถสังเกตการไหลปั่นป่วนในน้ำบริเวณใกล้ตัวเรือ โดยจะค่อยๆเพิ่มขึ้นจากหัวเรือไปท้ายเรือ ทำให้เข้าใจถึงพลังงานที่ถูกดูดซับในแรงต้านทานแรงเสียดทาน ตัวอย่างที่แสดงให้เห็นคือ เมื่อทดลองในน้ำนิ่งกับเรือใหม่ พบว่า แรงต้านทานแรงเสียดทานเท่ากับ 80 - 85% ของแรงต้านทานรวมในเรือความเร็วต่ำ และเท่ากับ 50% ในเรือความเร็วสูง และความหยาบของพื้นผิวตัวเรือจะเพิ่มแรงต้านทานแรงเสียดทานมากกว่าพื้นผิวตัวเรือที่เรียบ และสิ่งที่ตามมาภายหลังคือ การกัดกร่อน (Corrosion) และเพรียง (Fouling) ยังคงเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับที่ทำให้เกิดแรงต้านทานแรงเสียดทานที่จะเพิ่มขึ้นด้วย ไม่เพียงแต่ลักษณะของพื้นผิวตัวเรือเท่านั้นที่มีผลต่อแรงดูด แต่กระแสน้ำวนและผลจากระบบขับเคลื่อนมีส่วนทำให้แรงต้านทานแรงเสียดทานเปลี่ยนไปด้วย ดังนั้นแรงต้านทานแรงเสียดทานคือ ส่วนประกอบเดียวที่มากที่สุดของแรงต้านทานรวมของเรือ และการคำนวณทั้งทางทฤษฎีและการค้นคว้าทดลองที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับแรงต้านทานแรงเสียดทานมากกว่าปี โดยใช้การคำนวณพื้นที่ผิวเปียก ซึ่งใช้ในการคำนวณเพื่อหาแรงต้านทานแรงเสียดทาน ดังสมการ (3.16) ที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.1.2

2. วิธีการตัวประกอบของรูปทรง (Form Factor Methods) ในปี 1954 Hughes [12, 13] ได้เสนอวิธีการสำหรับใช้ระหว่างความสัมพันธ์เรือจำลองและเรือจริง ซึ่งพิจารณาแรงต้านทานรวมจากผลรวมของ 3 ส่วนประกอบ คือ

(1) แรงต้านทานแรงเสียดทาน (Frictional Resistance) แรงต้านทานที่ได้จากการลากแผ่นกระดานที่พื้นที่ผิวเปียกและความยาวเท่ากับเรือจำลอง

(2) แรงต้านทานจากรูปทรง (Form Resistance) ได้จากส่วนที่เกินจากส่วนประกอบแรก (1) ในกรณีของตัวเรือที่อยู่ในน้ำที่ลึกมากๆ Hughes ได้ประมาณค่าสำหรับตัวเรือที่เพรียว (Streamlined Body) ในการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) ซึ่งสามารถใช้แทนค่าส่วนประกอบของแรงต้านทานแรงเสียดทานได้

(3) แรงต้านทานพื้นผิวอิสระหรือแรงต้านทานคลื่น (Free Surface Resistance or Wave Resistance) ในส่วนที่เกินจากแรงต้านทานรวมสำหรับการจำลองพื้นผิว (Surface Model) ที่ได้จากผลรวมของแรงต้านทานแรงเสียดทานในส่วนประกอบแรก (1) กับแรงต้านทานจากรูปทรงในส่วนประกอบที่สอง (2) ของเรือจำลอง และจะอธิบายอย่างละเอียดในส่วนต่อไป จากส่วนประกอบที่ได้กล่าวมาสามารถแสดงอยู่ในรูปสมการดังต่อไปนี้

$$C_T = C_F + C_{FORM} + C_W \quad (3.19)$$

เมื่อ $C_{FORM} = k C_F \quad (3.20)$

ดังนั้น $C_T = (1+k) C_F + C_W \quad (3.21)$

(1+k) ถูกเรียกว่า ตัวประกอบของรูปทรง (Form Factor) และสามารถหาได้จากการทดลองเรือจำลองที่ความเร็วต่ำมากๆ โดยสามารถตัด C_W ออกไปได้

ในปี 1978 คณะกรรมการของแรงต้านทาน ITTC ครั้งที่ 15 ได้เสนอวิธีการใหม่นี้เรียกว่า วิธีการประมาณค่าของเรือใบจักรเดียวโดย ITTC 1978 (1978 ITTC Performance Prediction Method for Single Screw Ships) [14] ในวิธีการนี้ แรงต้านทานรวมของเรือได้ถูกแบ่งเป็น 4 ส่วนประกอบตามสมการดังต่อไปนี้

$$C_T = (1+k) C_F + C_R + \Delta C_F + C_{AA} \quad (3.22)$$

เมื่อ (1+k) = ตัวประกอบของรูปทรง

C_F = สัมประสิทธิ์แรงต้านทานแรงเสียดทานจาก ITTC 1957

C_R = สัมประสิทธิ์แรงต้านทานที่เหลือจากการทดสอบเรือจำลอง

ΔC_F = สัมประสิทธิ์ค่าผิวหยาบ (เท่ากับ 0 สำหรับแบบจำลองผิวเรียบ)

C_{AA} = สัมประสิทธิ์แรงต้านทานอากาศ (ประมาณค่าเท่ากับ 0 สำหรับเรือจำลองที่ไม่มีแก่ง)

เมื่อ $C_F = \frac{0.075}{(\log_{10}(Rn) - 2)^2} \quad (3.23)$

ITTC (International Towing Tank Conference) ได้ศึกษาสูตรการหา C_F ในปี 1957 ได้แนะนำสูตรสำหรับผิวความเสียดทาน (Skin Friction) “ITTC 1957 Model-Ship Correlation Line” และสูตรที่ได้แนะนำนี้ เพื่อใช้แก้ปัญหาในขั้นต้นสำหรับการใช้ออกแบบเรือจริงเท่านั้น

วิธีการนี้ได้แนะนำให้หาค่า k โดยการวัดค่าที่ความเร็วที่ต่ำมากๆ เมื่อ C_R มีค่าใกล้เคียง 0 และ $(1+k) = C_T/C_F$ ซึ่งในทางปฏิบัติ การทดลองที่ความเร็วต่ำ ค่าที่ได้บ่อยครั้งที่จะมีความแม่นยำที่ไม่เพียงพอเนื่องจากอุปกรณ์การวัดที่ขาดความเที่ยงตรง ดังนั้นวิธีการอื่นได้ถูกนำเสนอโดย Prohaska [15] ได้แนะนำคือ การประมาณค่า $C_{RM} = a Fn^n$ สำหรับการทดลองที่ความเร็วต่ำๆ (โดยทั่วไป $Fn < 0.2$) จะได้สมการดังนี้

$$C_T = (1+k) C_F + a Fn^n \quad (3.24)$$

ทั้ง a และ n สามารถหาได้จากการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

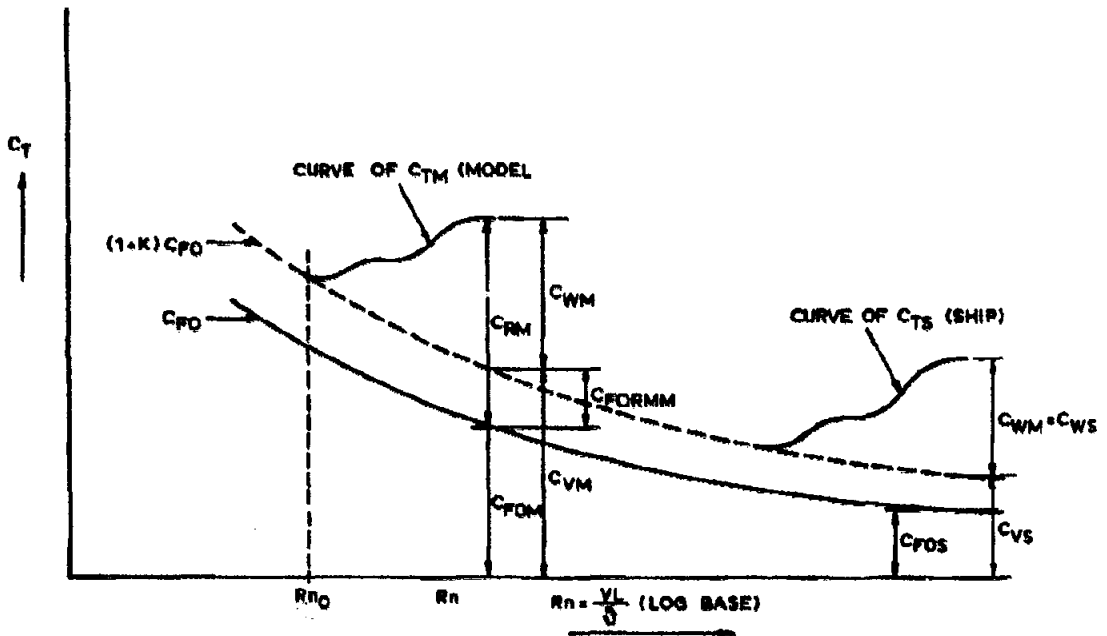
ในวิธีการตัวประกอบของรูปทรง ผลจากรูปทรงในแรงต้านทานแรงเสียดทานได้ถูกนำมารวมด้วย ดังนั้นการย่อส่วนระหว่างเรือจำลองและเรือจริงจะทำให้ได้ค่าที่เที่ยงตรงมากขึ้น แต่ $(1+k)$ ที่ประมาณได้ไม่ขึ้นกับความเร็ว เนื่องจาก R_n และ Fn ในการทดสอบเรือจำลอง ที่การไหลแยกตัว กระแสน้ำหมุนวน (Vortex) บริเวณท้ายเรือและสันเรือตามยาว (Bilge) อาจเกิดขึ้น ผลกระทบของ R_n ในตัวประกอบของรูปทรงได้ถูกพิจารณาร่วมด้วย

3.1.4 แรงต้านทานคลื่น (Wave Resistance)

แรงต้านทานคลื่น คือแรงต้านทานที่ถูกแยกมาพิจารณาในการศึกษาวิจัยนี้ เนื่องจากในการออกแบบเรือใหม่ซึ่งไม่มีฐานข้อมูลและการประมาณค่าแรงต้านทานเรือ ในขั้นตอนการออกแบบเบื้องต้น เมื่อเราพิจารณาส่วนประกอบของแรงต้านทานในรูปที่ 3.3 (C_{FO} คือแรงต้านทานแรงเสียดทานที่ได้จากการลากแผ่นกระดาษที่พื้นผิวเปียกและความยาวเท่ากับเรือจำลอง) เราสามารถทำการประมาณค่าแรงต้านทานแรงเสียดทาน (C_{FOM}) ได้โดยง่ายด้วยสูตรจาก ITTC 1957 ซึ่งค่าตัวประกอบของรูปทรง $(1+k)$ และแรงต้านทานคลื่น (C_{WM}) สามารถหาได้จากการทดสอบเรือจำลองซึ่งใช้เวลาและมีความใช้จ่ายที่สูง จึงเป็นที่มาในการศึกษาในครั้งนี้

ปัญหาแรงต้านทานคลื่นเมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่แบบคงที่ (Steady Motion) ของเรือที่เริ่มเคลื่อนที่ในน้ำนิ่ง โดยสมมุติให้ของไหลเป็นของไหลอุดมคติ คือ การตัดผลกระทบจากความหนืดทั้งหมดออก เรือจะสร้างคลื่นที่ผิวน้ำอิสระ การคำนวณแรงต้านทานคลื่นนี้สัมพันธ์กับข้อมูลหลายส่วนมากกว่าแรงต้านทานรวมอย่างมาก สิ่งนี้เป็นความสำคัญรองในการประยุกต์ใช้ที่หลากหลายและการคำนวณที่ได้บ่อยครั้งที่จะขาดความแม่นยำ แต่แสดงให้เห็น ‘ปัญหาแรงต้านทานคลื่น’ (Wave

Resistance Problem) ได้ง่ายขึ้น ‘การไหลคงที่แบบไม่มีความหนืดเป็นผลโดยตรงของปัญหานี้’
 ดังนั้นทำให้ได้รับความนิยมนามากด้วย



รูปที่ 3.3 การประมาณค่าเรือจำลองกับเรือจริงด้วยวิธีการตัวประกอบรูปทรง [8]

งานวิจัยของ Michell ในปี 1898 [16] ที่เห็นได้บ่อยๆ ตามการเกิดวิธีทางทฤษฎีสสมัยใหม่ของการประมาณแรงต้านทานคลื่นของเรือ (Ship Wave Resistance Prediction) ขณะที่ทฤษฎีของ Michell ไม่สามารถแยกตามการคำนวณทางกลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamic) ในความเข้าใจสมัยใหม่ได้ ซึ่งเป็นเหตุการณ์สำคัญในเวลานั้น และเป็นสิ่งประทับใจของนักคณิตศาสตร์จนถึงทุกวันนี้ Michell ได้แสดงแรงต้านทานคลื่นของตัวเรือบาง (Thin wall-sided Ship) ได้ดังนี้

$$R_w = \frac{4}{\pi} \rho V^2 v^2 \int_1^\infty \frac{\lambda^2}{\sqrt{\lambda^2 - 1}} |A(\lambda)|^2 d\lambda \tag{3.25}$$

กับ
$$A(\lambda) = -iv\lambda \int_S e^{v\lambda^2 z + iv\lambda x} f(x, z) dz dx \tag{3.26}$$

โดยที่ V = ความเร็วของเรือ
 ρ = ความหนาแน่นของน้ำ
 $v = g/V^2$

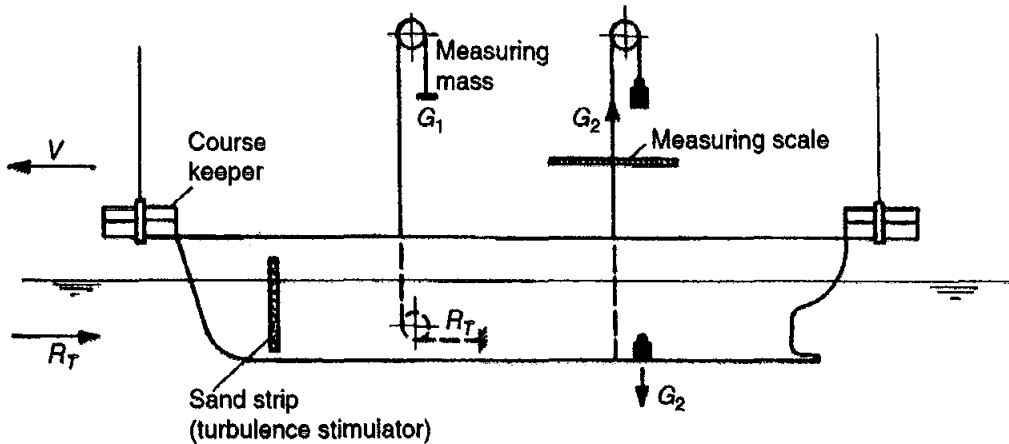
- g = ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง
 $f(x, z)$ = ครึ่งความกว้างของเรือ
 x = ตำแหน่งพิกัดแนวยาว (ทิศทางหัวเรือมีค่าบวก)
 z = ตำแหน่งพิกัดแนวตั้ง (จากแนวน้ำนิ่ง, ทิศทางขึ้นเป็นบวก)
 S = พื้นที่ผิวตัวเรือใต้แนวน้ำนิ่ง

สมการที่ได้นี้ ให้ผลลัพธ์ที่ใช้ได้จริงกับตัวเรือที่บางมากๆ (อัตราความกว้างต่อความยาวมีค่าน้อยมากๆ) สำหรับทุกช่วงฟรูดนัมเบอร์ และตัวเรือที่เพรียว (Slender Ship) ที่มีอัตราความกว้างต่อความยาวและอัตราความลึกต่อความยาวที่น้อยมากๆ สำหรับค่าฟรูดนัมเบอร์ที่มีค่าสูง ทฤษฎีของ Michell (รวมถึงรายละเอียดต่อมาในภายหลังทั้งหมด) ในส่วนสำคัญที่ไม่เป็นที่ยอมรับในส่วนของรูปทรงของเรือจริงและความเร็วของเรือ

วิธีการดั้งเดิม (Thin ship Theory, Slender-body Theory) ได้แนะนำไว้อย่างเข้าใจง่าย ที่แสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดเกี่ยวกับรูปทรงของเรือ รูปทรงของเรือจริงโดยทั่วไปไม่ใช่รูปทรงบางหรือเพรียวที่เพียงพอ ความแตกต่างระหว่างผลการคำนวณทางคอมพิวเตอร์ (Computational) และผลจากการทดลอง (Experimental) ยังคงไม่เป็นที่ยอมรับ การประยุกต์ใช้งานจริงในอุตสาหกรรมแทบจะทั้งหมดในการใช้หลักการเบี่ยงวิธีบาวดาร์อีเลเมนต์ เครื่องมือเหล่านี้ยังคงเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างมากสำหรับนาวาสถาปนิก (Naval Architect) อย่างไรก็ตามล่าสุดยังได้มีการเพิ่มการประยุกต์ใช้ในส่วนของการไหลแบบมีความหนืดอีกด้วย

3.2 วิธีการทดลองลากเรือจำลอง

การทดสอบแรงต้านทานเพื่อหาแรงต้านทานตัวเรือที่ปราศจากใบจักรนั้น บ่อยครั้งที่ทดสอบโดยไม่มีส่วนอื่นๆ (Appendage) ติดตั้งยื่นออกมาจากตัวเรือด้วย ซึ่งในบางครั้งการทดสอบแรงต้านทานเพื่อหาทั้งค่าแรงต้านทานตัวเรือเปล่า (Naked Hull) และตัวเรือที่ถูกติดตั้งกับส่วนประกอบนอกตัวเรือ (Appendage) ในการทดสอบระบบขับเคลื่อนนั้นทำรวมกับการทำงานของใบจักรและส่วนประกอบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องที่ยื่นออกมา ปัญหาที่เกิดขึ้นคือแรงที่กระทำกับส่วนประกอบที่ยื่นออกมามีจำนวนมากที่เกิดจากผลกระทบของความหนืด (Viscosity Effect) กับส่วนน้อยคือผลกระทบจากแรงโน้มถ่วง (Gravity Effect) ซึ่งมีค่าน้อยมาก เนื่องจากการไม่เป็นไปตามความคล้ายคลึงของเรย์โนลด์ (Reynolds Similarity) แรงต้านทานที่เกิดขึ้นจึงไม่สามารถขยายเป็นแรงต้านทานเรือจริงได้โดยง่าย สำหรับเรือที่มีส่วนประกอบตัวเรือ (Appendage) ขนาดใหญ่และชนิดพิเศษ ปริมาณความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าจึงมีค่ามากกว่ามาก เมื่อเทียบกับตัวเรือปกติ ในที่นี้ค่าที่ได้จากสถิติ (Experience) ช่วยในการทำการปรับแก้ไขให้เหมาะสมได้



รูปที่ 3.4 การติดตั้งตัวเรือจำลองสำหรับทดสอบแรงต้านทานโดยใช้หลักน้ำหนักถ่วง [11]

สำหรับการทดสอบแรงต้านทานเรือจำลองโดยใช้หลักน้ำหนักถ่วง ตัวเรือจำลองจะถูกดึงไว้ด้วยน้ำหนักถ่วงและลวด ดังรูปที่ 3.4 แรงดึงหลักมาจากน้ำหนักถ่วงหลัก G_1 โดยที่น้ำหนักถ่วง G_2 ใช้ในการปรับแต่งตัวเรือ สามารถเขียนอยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

$$R_T = G_1 \pm G_2 \sin \alpha \quad (3.27)$$

โดยที่เครื่องหมายเป็นบวก เมื่อลวดแนวดิ่งเคลื่อนที่ไปทางท้าย มุม α สามารถหาได้จากการวัดค่าระยะความยาวจากแถบสเกล (Measuring Scale) หรืออีกวิธีหนึ่งในเทคนิคการทดลองสมัยใหม่ได้ใช้สเตรนเกจ (Strain Gauge) เนื่องจากอุปกรณ์นี้จะไม่นิ่มเอียงไปมาเมื่อตัวเรือมีการแกว่งตามระบบลวดถ่วงน้ำหนัก (Wire-weight System) ซึ่งการทดสอบเรือจำลองจะให้ค่าแรงต้านทาน (และกำลัง) สำหรับสภาวะถึงทดลองลากเรือดังต่อไปนี้

- (1) (โดยสภาวะปกติ) ความลึกของน้ำที่เพียงพอ
- (2) ไม่มีสภาวะคลื่นในทะเล (No Seaway)
- (3) ไม่มีสภาวะจากกระแสลม (No Wind)
- (4) น้ำในถังทดลองเป็นน้ำจืดที่อุณหภูมิห้องทดลอง

แรงต้านทานของเรือจำลอง (R_{TM}) ที่ได้ จะถูกขยายเป็นแรงต้านทานของเรือจริง (R_{TS}) โดยวิธีที่สำคัญที่สุดของวิธีเหล่านี้ในทางปฏิบัติคือวิธี ITTC 1978 ดังสมการ (3.22) เพื่อศึกษาหาค่าแรงต้านทานคลื่นซึ่งสามารถหาได้จากสมการ (3.22) โดยตัดเทอมของการปรับแก้ค่าความหนาพื้นผิวตัวเรือ (ΔC_F) และเทอมของแรงต้านทานอากาศ (C_{AA}) จะได้เป็นสมการ (3.21) โดยค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานแรงเสียดทาน (C_{FM}) สามารถคำนวณได้จากสมการ ITTC 1957 ดังสมการ (3.23) วิธีดำเนินการมีดังนี้

- (1) ลากเรือจำลองตามความเร็วสมนัย และวัดแรงต้านทานทั้งหมดของเรือจำลอง (R_{TM})
- (2) คำนวณแรงต้านทานแรงเสียดทานของแบบจำลอง (C_{FM}) จากสมการ ITTC 1957
- (3) คำนวณหาค่า $(1+k)$ จากสมการ (3.24)
- (4) คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นได้จาก $C_w = C_{TM} - (1+k) C_{FM}$

ใน 4 ขั้นตอนข้างต้น เป็นส่วนที่ใช้ในการวิเคราะห์แรงต้านทานในการออกแบบ สำหรับการใช้งานจริง จะทำการขยายแรงต้านทานคลื่นโดยใช้กฎการเปรียบเทียบจากสมการ (3.15) และคำนวณแรงต้านทานแรงเสียดทานเรือจริงด้วยวิธี ITTC 1957 และหาผลรวมของแรงต้านทานรวมของเรือจริง ด้วยวิธี ITTC 1978 ดังสมการ (3.22)

3.3 การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล

การพิจารณาการจำลองการไหลโดยตัดผลกระทบที่เกิดจากความหนืดผ่านตัวเรือแบบ 2 เฟส ด้วยวิธีเชิงตัวเลขแบบปริมาตรจำกัด (Finite Volume Method, FVM) ร่วมกับแบบจำลองปริมาตรของไหล (VOF) แบบ Implicit Scheme สำหรับการเปลี่ยนแปลงที่ผิวน้ำและคุณสมบัติการไหลอื่นๆ ของแต่ละปริมาตรควบคุมรวมกับการใช้ Open Channel Flow เพื่อให้ความดันที่ทางเข้าแปรผันตามความลึกของระดับน้ำ สุดท้ายทำการดิสครีไทเซชัน (Discretization) สมการควบคุม (Governing Equation) สำหรับการไหลแบบไม่มีความหนืดหรือ สมการออยเลอร์ (Euler Equation) ที่ได้จากการตัดเทอมของความหนืดจากสมการ Navier-Stokes ด้วยการหาผลเฉลยแบบแยกพิจารณา (Segregated Solution Method)

สมการอนุรักษ์มวล (Mass Conservation Equation)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \quad (3.28)$$

สมการ 3.28 เป็นสมการความต่อเนื่อง สำหรับการไหลแบบไม่มีความหนืด แบบอัดตัวไม่ได้

สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Momentum Conservation Equation)

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (3.29)$$

สมการการส่งผ่าน (Transport Equation) สำหรับการไหลแบบ Multiphase อยู่ในรูปของ

$$\frac{\partial (\alpha \rho \phi)}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha \rho \vec{v} \phi) = \nabla \cdot \vec{\tau} + S_\phi \quad (3.30)$$

ในการจำลองปริมาตรของไหล VOF ที่แนวน้ำและอากาศ ได้ทำการแบ่งสัดส่วนปริมาตร (Volume Fraction) โดยสมการความต่อเนื่อง 3.28 สำหรับการแบ่งสัดส่วนปริมาตรอยู่รูปของ สมการการแบ่งสัดส่วนเชิงปริมาตร (Volume Fraction Equation)

$$\frac{1}{\rho q} \left[\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_q \rho_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \vec{v}_q) \right] = S_{\alpha q} + \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{pq} - \dot{m}_{qp}) \quad (3.31)$$

โดยสามารถศึกษาได้จากเอกสารอ้างอิง [17] สมการการแบ่งสัดส่วนเชิงปริมาตรเมื่อ กำหนดให้อากาศเป็นเฟสปฐมภูมิ (Primary Phase) และน้ำเป็นเฟสทุติยภูมิ (Secondary Phase) จะไม่ได้เป็นการแก้ปัญหาสำหรับเฟสปฐมภูมิ สัดส่วนปริมาตรเฟสปฐมภูมิสามารถได้จากสมการ ข้อจำกัดต่อไปนี้

$$\sum_{q=1}^n \alpha_q = 1 \quad (3.32)$$

ทำการดิสครีไทเซชัน แบบแปรผันตามเวลา สมการการแบ่งสัดส่วนเชิงปริมาตรในรูปแบบของ Implicit Scheme ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{\alpha_q^{n+1} \rho_q^{n+1} - \alpha_q^n \rho_q^n}{\Delta t} V + \sum_f (\rho_q^{n+1} U_f^{n+1} \alpha_{q,f}^{n+1}) = \left[S_{\alpha_q} + \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{pq} - \dot{m}_{qp}) \right] V \quad (3.33)$$

- เมื่อ $n+1$ คือตัวบ่งชี้สำหรับชั้นเวลาปัจจุบัน
 n คือตัวบ่งชี้สำหรับชั้นเวลาก่อนหน้า
 $\alpha_{q,f}$ คือค่าพื้นผิว (Face Value) ของการแบ่งสัดส่วนเชิงปริมาตร q^{th}
 V คือปริมาตรของเซลล์ (Volume of Cell)
 U_f คือปริมาตรการไหลตามพื้นผิวจากความเร็วก่เกิดขึ้น

สมการ (3.33) ใช้ค่าการแบ่งสัดส่วนเชิงปริมาตรที่ชั้นเวลา n ขณะนั้น และแก้หาผลเฉลยซ้ำๆ สำหรับแต่ละการแบ่งสัดส่วนเชิงปริมาตรในเฟสทุติยภูมิที่แต่ละชั้นเวลา

สมการแรงดันรวม (Total pressure, p_0)

$$p_0 = \frac{1}{2} (\rho - \rho_0) V^2 + (\rho - \rho_0) | \vec{g} | (\hat{g} \cdot (\vec{b} - \vec{\alpha})) \quad (3.34)$$

- เมื่อ p_0 คือแรงดันรวมที่ทางเข้า

- ρ คือความหนาแน่นของของผสมในเซลล์
- ρ_0 คือความหนาแน่นที่อ้างอิง (The Reference Density)
- V คือขนาดความเร็ว (The Velocity Magnitude)
- \vec{g} คือเวกเตอร์แรงโน้มถ่วง (The Gravity Vector)
- $|\vec{g}|$ คือขนาดแรงโน้มถ่วง (The Gravity Magnitude)
- \hat{g} คือหน่วยเวกเตอร์ของแรงโน้มถ่วง (The Unit Vector of Gravity)
- \vec{b} คือตำแหน่งเวกเตอร์ของจุดศูนย์กลางพื้นผิว
- $\vec{\alpha}$ คือตำแหน่งเวกเตอร์ที่จุดอื่นบนพื้นผิวอิสระ

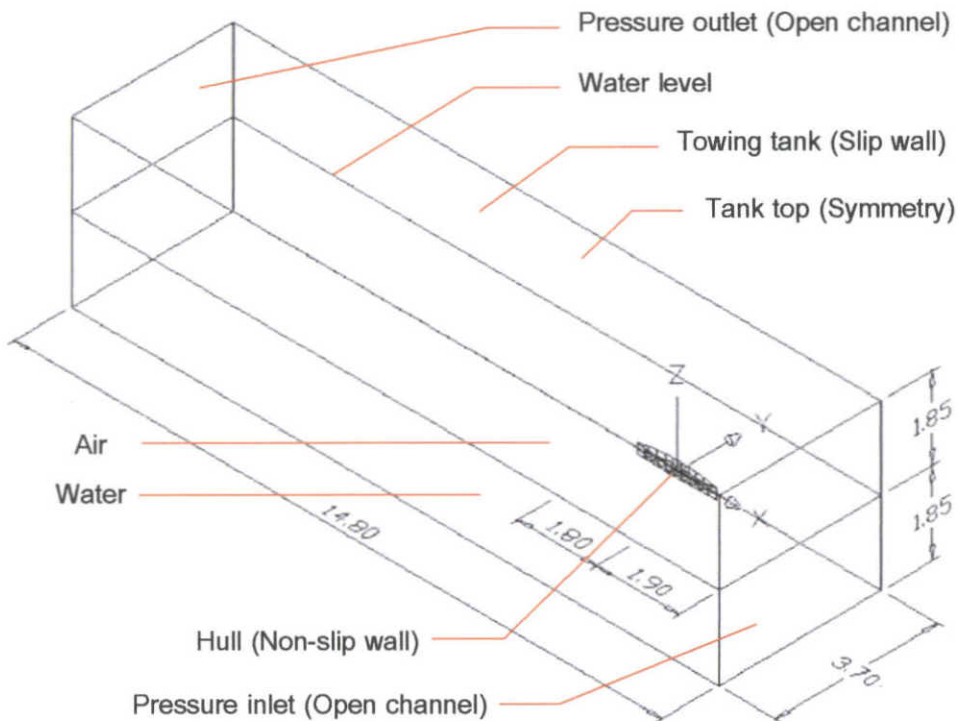
แรงดันที่ทางเข้าสำหรับ Open Channel Flow (p_0) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการ (3.34) โดยที่เทอมแรกเป็นเทอมของ Dynamic Pressure (q) และเทอมที่สองเป็นเทอมของ Static Pressure (p_s)

สำหรับการคำนวณการจำลองการไหลแบบไม่มีความหนืดผ่านตัวเรือแบบ 2 เฟส ดังที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น ได้อ้างอิงจากแบบจำลองการไหลที่สร้างขึ้นจากโปรแกรม ANSYS Fluent 12 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการทำการจำลองตลอดในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดยจะอธิบายขั้นตอนอย่างละเอียดต่อไป

บทที่ 4

การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน

ในบทนี้ เป็นการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน จากการคำนวณพลศาสตร์ของไหลกับค่าที่ได้จากการทดลองลากเรือจำลอง ในเรือท้องเดี่ยว เรือท้องคู่ และเรือไตรมารานด้วยโปรแกรมการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Fluent) เพื่อยืนยันผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสอดคล้องกับผลการทดลอง สำหรับการหาค่าแรงต้านทานคลื่นของเรือไตรมาราน โดยการกำหนดเงื่อนไข CFD ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งรายละเอียดวิธีดำเนินการสร้างแบบจำลอง และขั้นตอนต่างๆ เกี่ยวกับโปรแกรม Fluent จะอธิบายอย่างละเอียดในบทต่อไป



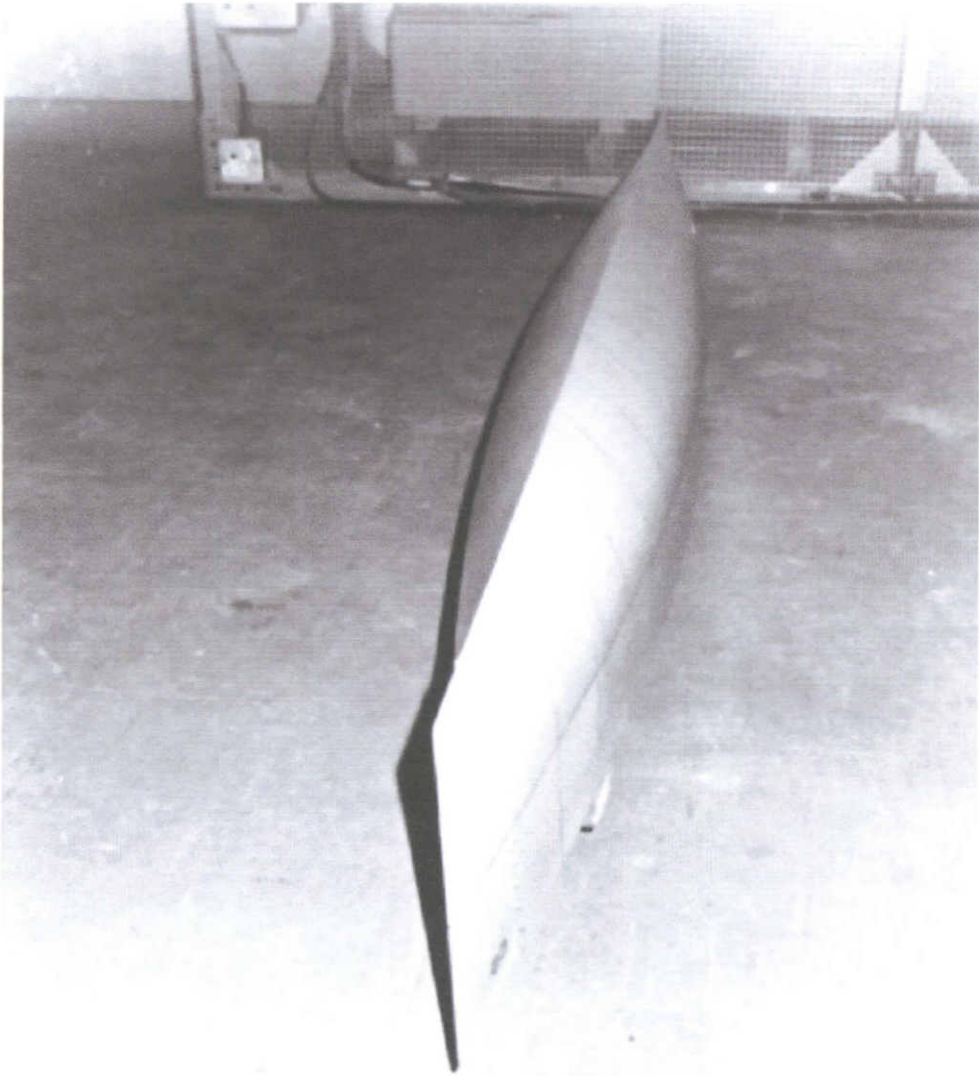
รูปที่ 4.1 แสดงการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตและขนาดของแบบจำลองถังลากเรือใน CFD [18]

ในเบื้องต้นได้ทำการทดสอบโมเดลเรือทั้งสามชนิดที่ความเร็วพุดนัมเบอร์ในช่วง 0.50 – 0.70 และได้ทำการบันทึกค่าแรงดันจากนั้นคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่น เปรียบเทียบกับผลการทดลองลากเรือจำลองในถังลากเรือ (Towing Tank Test) ของ Insel และ Molland [1] ในเรือท้องเดี่ยว (Model 1) และเรือสองท้อง (Model 2 – 4) เมื่อได้ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจแล้ว นำวิธีการกำหนดเงื่อนไขที่ได้ทดสอบในเรือไตรมาราน (Model 5 – 6) ที่ความเร็วพุดนัมเบอร์ในช่วง

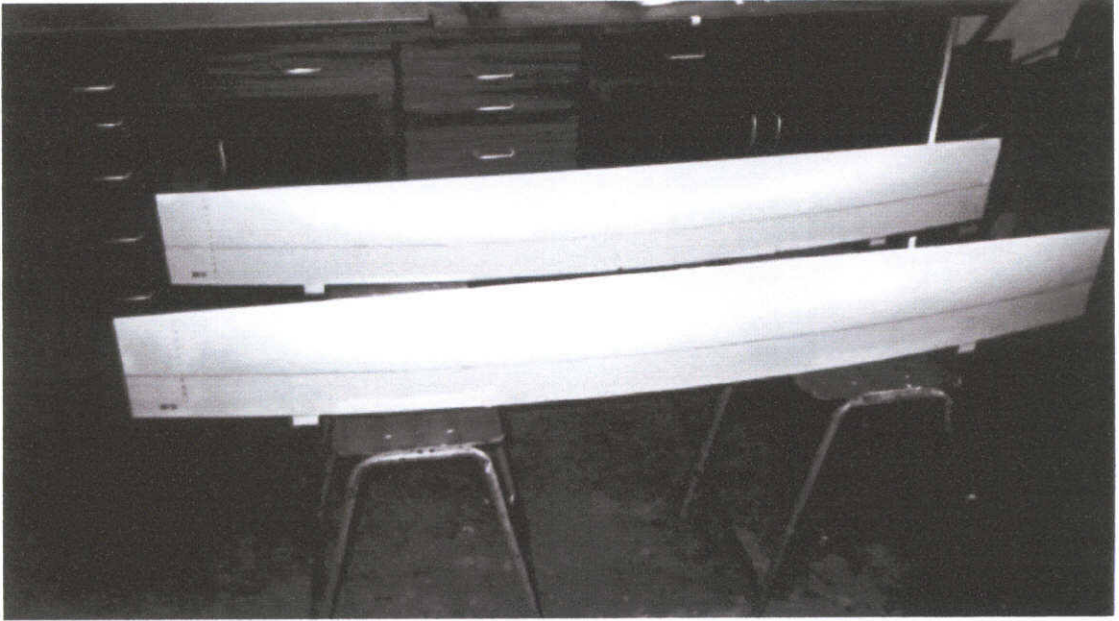
0.330 – 0.392 เทียบกับผลการทดลองลากเรือจำลองในถังลากเรือของ Battistin [19] และความเร็วพุดนัมเบอร์ในช่วง 0.200 - 0.829 เทียบกับผลการทดลองลากเรือจำลองในถังลากเรือของ Wang และ Lu [20] ทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละโมเดลและแต่ละช่วงความเร็วพุดนัมเบอร์ เพื่อศึกษาผลกระทบความคลาดเคลื่อนและยืนยันวิธีการกำหนดเงื่อนไขของการคำนวณ CFD

4.1 เรือท้องเดียว

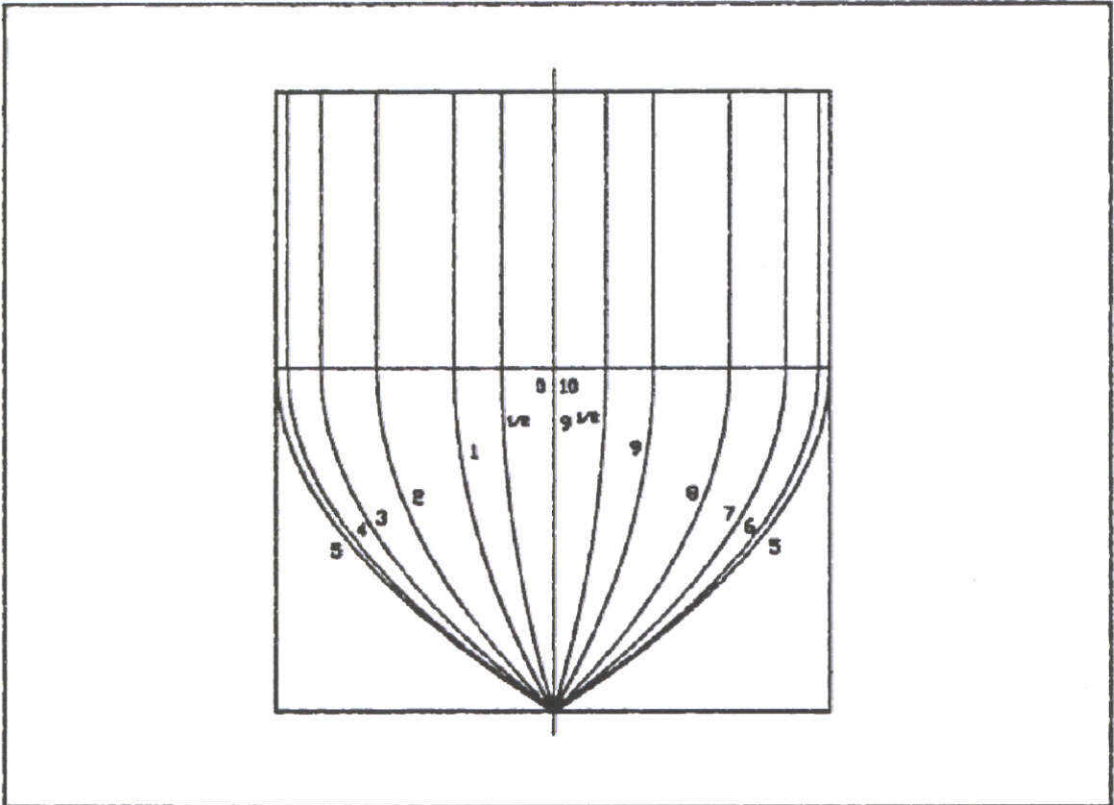
คุณลักษณะของเรือท้องเดียวนำมาใช้ในการจำลองเป็นตัวเรือ Wigley ที่มีรูปทรงและขนาดเดียวกันกับโมเดล C2 ที่ใช้ในการทดลองของ Insel และ Molland [1] ซึ่งมีคุณลักษณะดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 ถึง 4.4 เป็นตัวเรือจริงที่ใช้ทดลองลากเรือในถังทดลอง



รูปที่ 4.2 ภาพด้านหน้า (Front view) ของโมเดล C2 ของ Insel และ Molland [1]



รูปที่ 4.3 ภาพด้านข้าง (Side view) ของโมเดล C2 ของ Insel และ Molland [1]

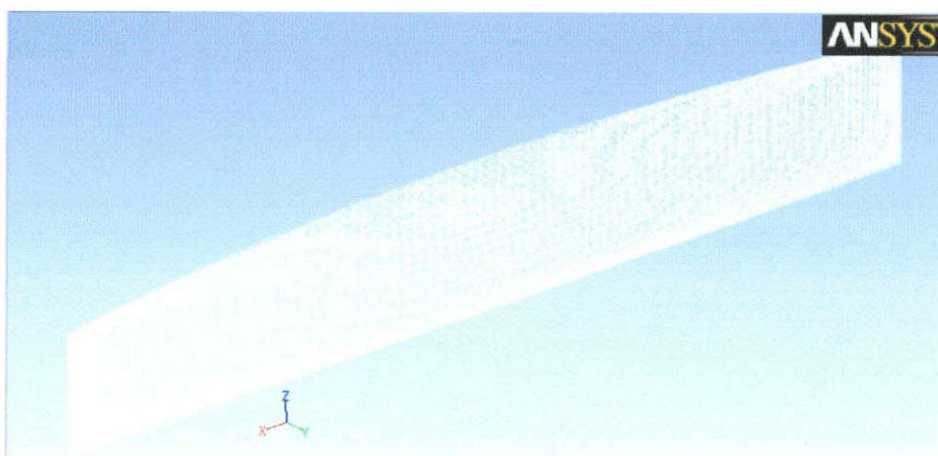


รูปที่ 4.4 แสดงลายเส้นตามขวาง (Body plan) ของโมเดล C2 ของ Insel และ Molland [1]

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดคุณลักษณะของตัวเรือท้องเดียว [1]

Hull Type	Monohull / Wigley
L	1.80
L/B	10.00
B/T	1.60
$L/\nabla^{1/3}$	7.116
C_B	0.444
C_P	0.667
C_M	0.667
S	0.482

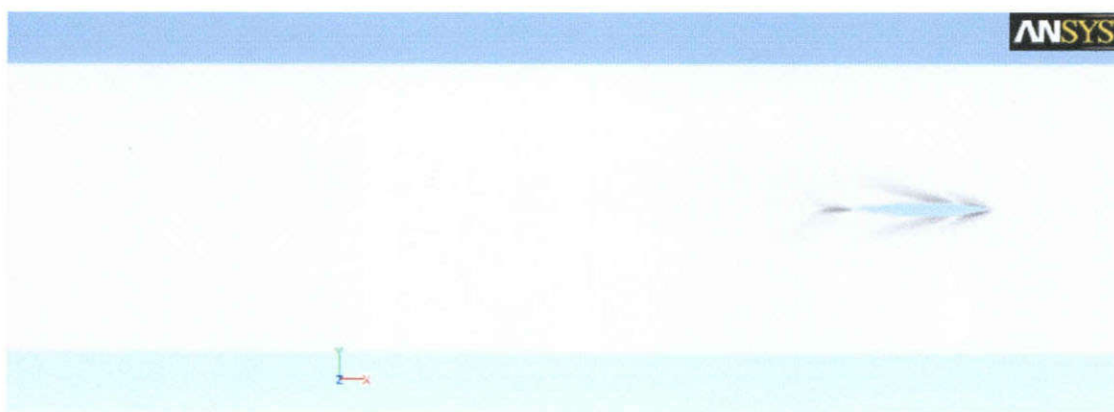
นำข้อมูลขนาดตัวเรือที่ได้ คือ ความยาวตัวเรือ (L) เท่ากับ 1.8 เมตร ความกว้างตัวเรือ (B) เท่ากับ 0.18 เมตร ระยะกินน้ำลึกตัวเรือ (T) เท่ากับ 0.1125 เมตร ความลึกตัวเรือ (D) เท่ากับ 0.225 เมตร และพื้นที่ผิวเปียก (S) 0.482 ตารางเมตร จำลองตัวเรือและถังทดลองและทำการประมวลผลในโปรแกรม Fluent โดยกำหนดให้ถังทดลองมีขนาดความยาว 14.80 เมตร ความกว้าง 3.70 เมตร ความลึก 3.70 เมตร และกำหนดให้น้ำในถังมีความลึก 1.85 เมตร ซึ่งมีขนาดเป็นไปตามงานวิจัยของ Insel และ Molland [1] ยกเว้นส่วนบรรยากาศและความยาวถัง เนื่องจากใช้ในการเปรียบเทียบกับผลการจำลอง CFD ของตัวเรือคู่ [5] จึงกำหนดให้มีขนาดความยาวถังและระยะห่างระหว่างหัวเรือและหางเข้าของของไหลเท่ากันเท่ากับ 1.90 เมตร และกำหนดเงื่อนไขขอบเขต ดังรูปที่ 4.1 [18] โดยแบบจำลองที่ได้จากการแบ่งกริดปริมาตรควบคุมมีจำนวน 1,065,344 เซลล์ ซึ่งกริดที่ใช้เป็นแบบผสมด้วยกริดสี่เหลี่ยมและกริดหกหน้า (Quadrilateral and Hexahedral) ดังรูปที่ 4.5 และกำหนดให้การไหลเป็นแบบไม่มีความหนืด (Inviscid flow)



รูปที่ 4.5 การแบ่งกริดของตัวเรือท้องเดียว



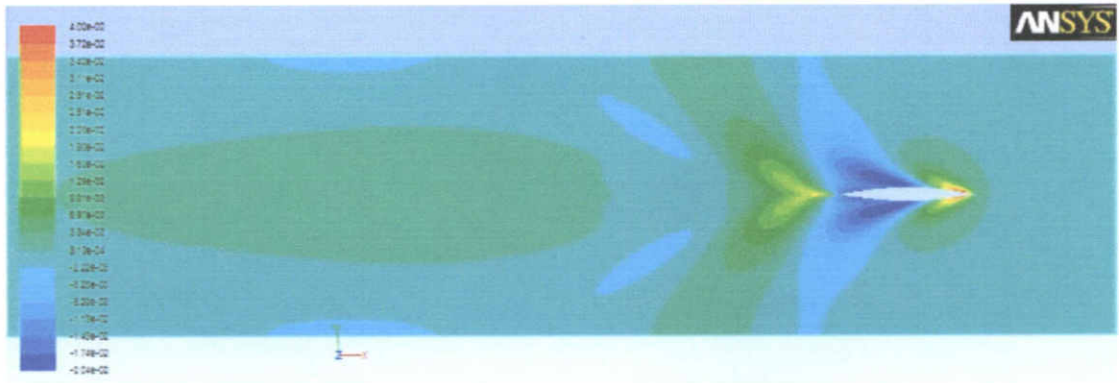
รูปที่ 4.6 รูปแบบคลื่น (Wave Pattern) ที่เกิดจากเรือท้องเดี่ยวที่ F_n เท่ากับ 0.5



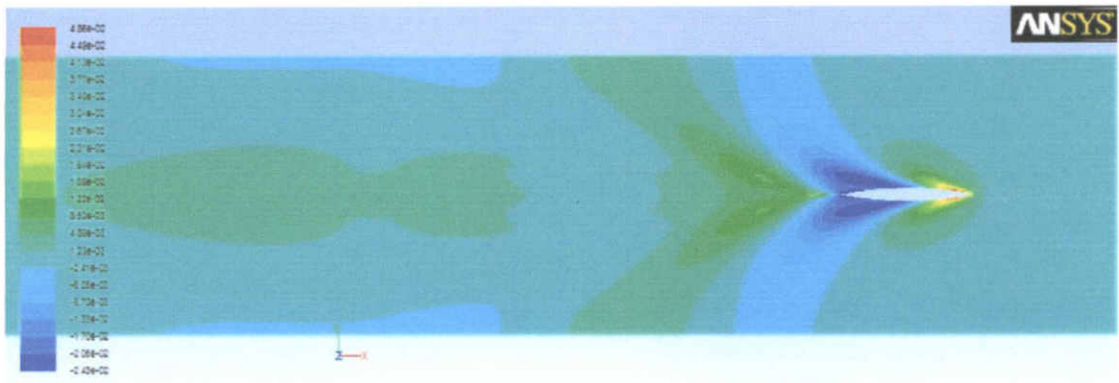
รูปที่ 4.7 รูปแบบคลื่น (Wave Pattern) ที่เกิดจากเรือท้องเดี่ยวที่ F_n เท่ากับ 0.6



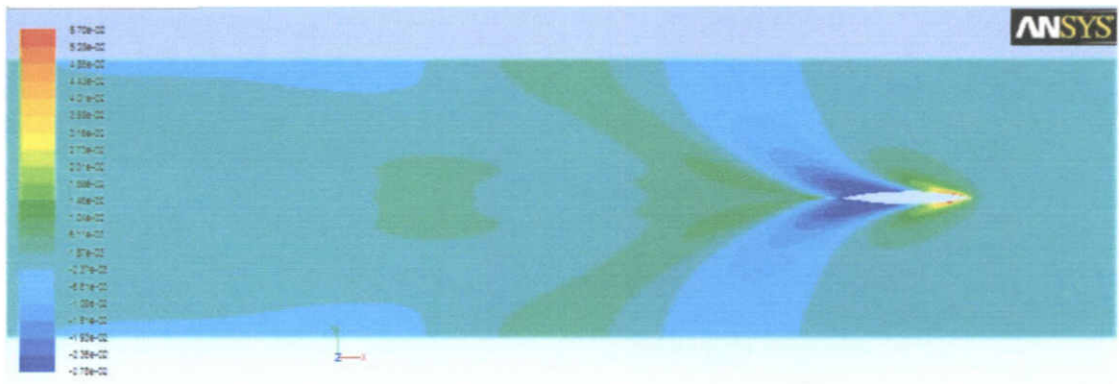
รูปที่ 4.8 รูปแบบคลื่น (Wave Pattern) ที่เกิดจากเรือท้องเดี่ยวที่ F_n เท่ากับ 0.7



รูปที่ 4.9 ระดับคลื่น (Wave Contour) ที่เกิดจากเรือท้องเดียวที่ F_n เท่ากับ 0.5



รูปที่ 4.10 ระดับคลื่น (Wave Contour) ที่เกิดจากเรือท้องเดียวที่ F_n เท่ากับ 0.6



รูปที่ 4.11 ระดับคลื่น (Wave Contour) ที่เกิดจากเรือท้องเดียวที่ F_n เท่ากับ 0.7

จากการจำลองของไหลผ่านตัวเรือ Model 1 ดังรูปที่ 4.6 – 4.11 พบว่ารูปแบบคลื่น (Wave Pattern) ที่ได้จากการจำลองพลศาสตร์ของไหลมีความสอดคล้องกับรูปแบบคลื่นที่ผิวน้ำดังรูปที่ 3.3 โดยที่มุมการลู่ออกอย่างต่อเนื่องของคลื่นที่แพร่กระจายออกด้านข้างของเรือเป็นมุมแหลมซึ่งจะมีขนาดที่เล็กลง เมื่อความเร็วพุดนัมเบอร์เพิ่มขึ้น ความสูงของคลื่นถูกแสดงในลักษณะของระดับคลื่น (Wave Contour) พบว่าเมื่อเรือแล่นผ่านตัดน้ำ น้ำจะถูกยกตัวสูงขึ้นจากระดับแนวน้ำจนเกิดสันคลื่นที่บริเวณหัวเรือ จากนั้นคลื่นจะลดต่ำลงและเกิดท้องคลื่นเมื่อผ่านกึ่งกลางลำและมีความลึกจากแนวน้ำเกือบคงที่เมื่อผ่านท้ายเรือ โดยที่คลื่นบริเวณท้ายเรือจะมีความลึกลดต่ำลงเมื่อความเร็วพุดนัมเบอร์เพิ่มขึ้นซึ่งมีลักษณะสอดคล้องกับพฤติกรรมการเกิดคลื่นของเรือที่มีความเร็วสูงขึ้น และสอดคล้องกับแรงต้านทานคลื่นที่มีค่าลดลงเนื่องจากขนาดความลึกของคลื่นที่ลดต่ำลง

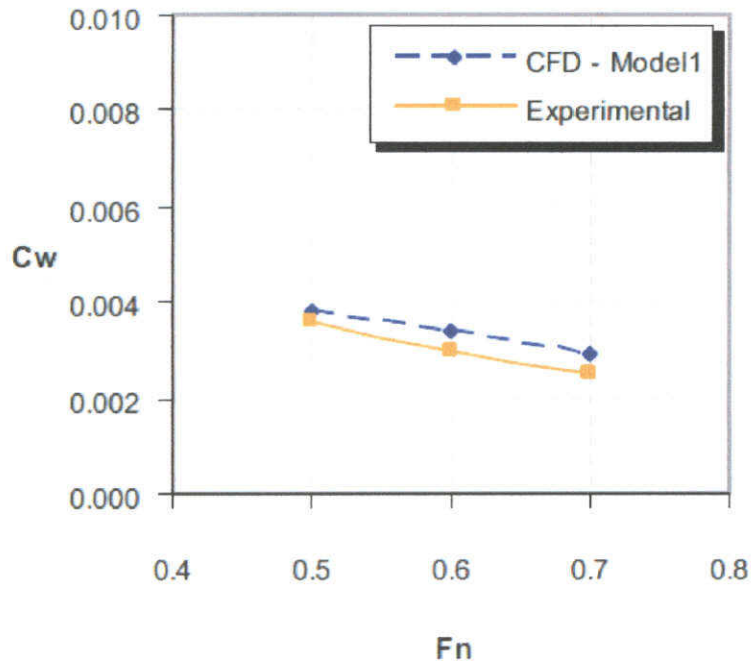
ในการจำลอง CFD ที่ความเร็ว (V) ต่างๆ ได้จาก Fn เท่ากับ V/\sqrt{gL} โดยค่าคงที่อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (g) เท่ากับ 9.81 m/s^2 โดยทำการเปลี่ยนความเร็วพุดนัมเบอร์ 0.5, 0.6 และ 0.7 ทำการบันทึกค่า Pressure force หรือแรงดันในแนวตั้งฉากกับพื้นผิวตัวเรือ (Normal pressure หรือ Wave resistance, R_w) จากสมการที่ (3.9) สามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการ (4.1) ทำการการคำนวณค่า C_w ด้วยค่าแรงต้านทานคลื่น (R_w) ที่บันทึกได้จากการจำลองการไหลและค่าพื้นที่ผิวเปียก (S) ตามตารางที่ 4.1 โดยกำหนดให้ค่าความหนาแน่นของของไหลเท่ากับ 998.2 kg/m^3 ทำการคำนวณและบันทึกค่าได้ตามตารางที่ 4.2

$$C_w = \frac{R_w}{\frac{1}{2}\rho S V^2} \quad (4.1)$$

ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นของเรือท้องเดี่ยว (Model 1)

No.	Fn	V (m/s)	C_w (Exp.)	R_w (N) (CFD)	C_w (CFD)	Error (%) (C_w)
1	0.5	2.101	0.00362	4.0746	0.00384	5.99
2	0.6	2.521	0.00300	5.2113	0.00341	13.59
3	0.7	2.941	0.00255	6.0576	0.00291	14.13

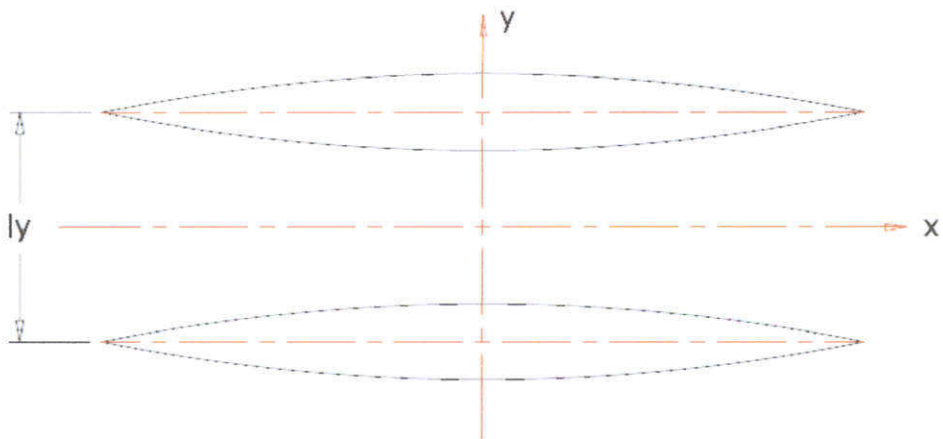
นำค่า C_w จากตารางที่ 4.2 พล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์เลขพุดนัมเบอร์ในช่วง 0.5 – 0.7 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองลากเรือจำลอง [1] ดังรูปที่ 4.12 พบว่า C_w มีค่าลดลงเมื่อเลขพุดนัมเบอร์เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับผลการทดลองลากเรือจำลอง และแสดงให้เห็นว่า เมื่อเรือมีความเร็วสูงขึ้น แรงต้านทานคลื่นมีค่าลดลง ค่าความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณด้วย CFD กับผลการทดลองลากเรือจำลองในเรือท้องเดี่ยวพบว่า อยู่ระหว่าง 6 – 15% (ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 11%) โดยค่าที่ได้จาก CFD มีค่ามากกว่าผลการทดลองลากเรือจำลอง



รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบค่า C_w ที่ได้จากการคำนวณ CFD กับผลการทดลองของ Model 1 [18]

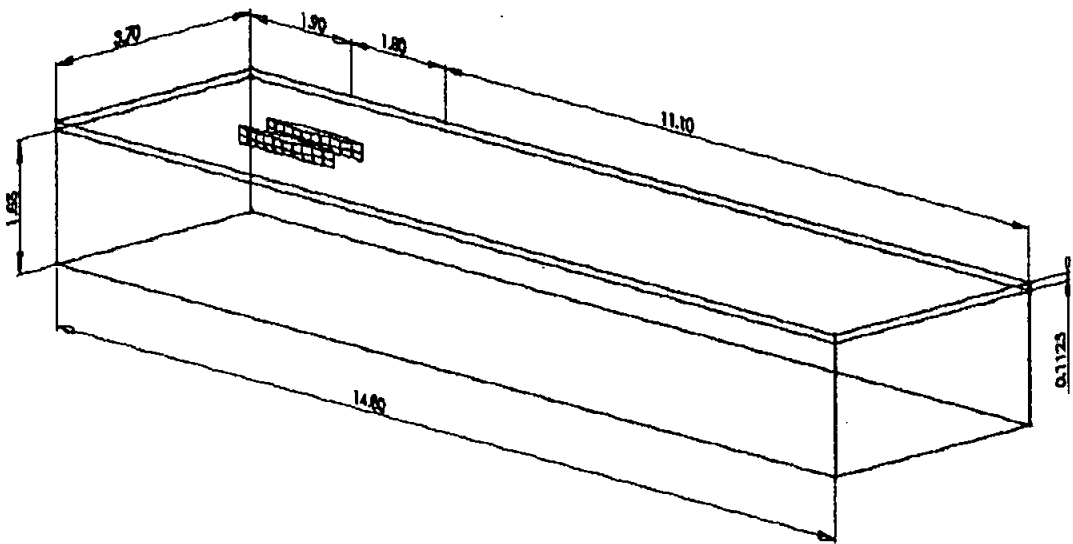
4.2 เรือท้องคู้

คุณลักษณะของเรือท้องคู้มีลักษณะเช่นเดียวกันกับ Model 1 โดยมีขนาดเท่ากัน นำมาจำลองเป็นตัวเรือคู้ โดยมีระยะห่างระหว่างกึ่งกลางตัวเรือ 0.54 เมตร (ly) ดังรูปที่ 4.13 เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลการจำลองการไหลแบบไม่มีความหนืด (Inviscid flow) ที่ได้ใน Model 3 และ Model 4 กับผลการจำลองแบบมีความหนืด (Viscous flow) Turbulence model แบบ $k - \epsilon$ มาตรฐาน [5] ใน Model 2 และผลจากการทดลองลากเรือจำลองในถังลากเรือ [1]

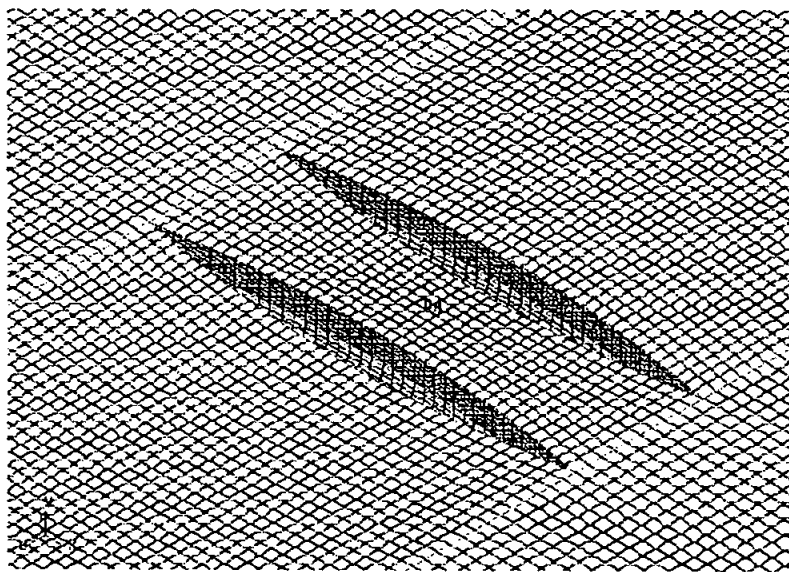


รูปที่ 4.13 แสดงระยะห่างของตัวเรือคู้

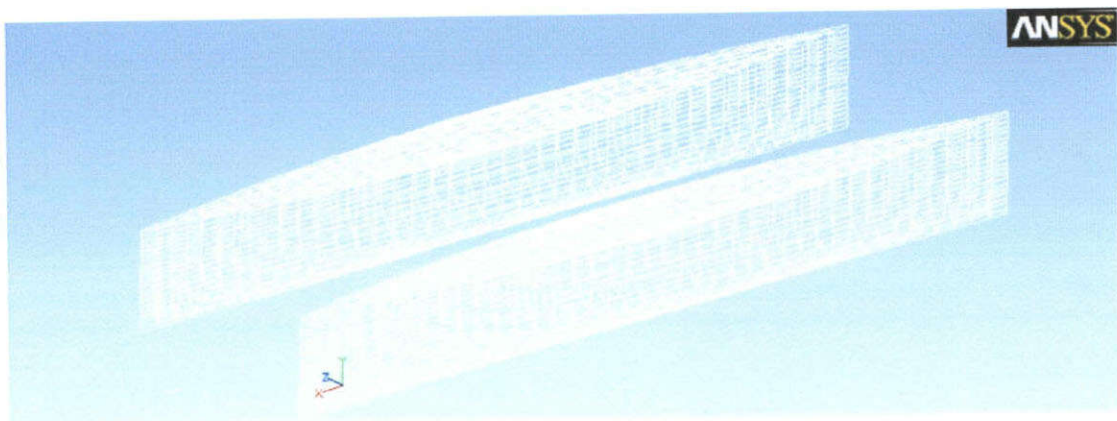
ในแบบจำลองการไหล Model 2 ได้ทำการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตดังรูปที่ 2.3 และกำหนดให้ถึงทดลองและระยะห่างระหว่างหัวเรือและทางเข้าของของไหลเป็นดังรูปที่ 4.14 และการแบ่งกริดดังรูปที่ 4.15 ซึ่งมีลักษณะกริดที่เหมือนกับ Model 1 โดยปริมาตรควบคุมมีความละเอียดมากที่สุดบริเวณผิวตัวเรือและผิวน้ำ จากนั้นการแบ่งกริดจะหยาบขึ้นเมื่อห่างออกไป โดยการแบ่งกริดปริมาตรควบคุมมีจำนวน 897,846 เซลล์ และได้นำ Model 2 มาพัฒนาการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตตาม Model 1 ดังรูปที่ 4.1 เป็น Model 3 เป็นการจำลองการไหลแบบไม่มีความหนืด โดยที่การแบ่งกริดปริมาตรควบคุมมีจำนวนเท่ากับ Model 2 ดังรูปที่ 4.16 เพื่อเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต



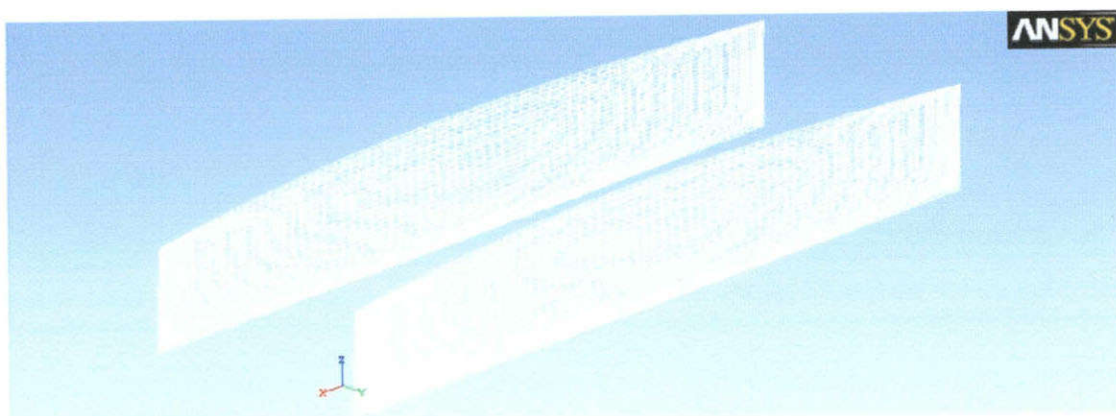
รูปที่ 4.14 ขนาดของแบบจำลองถังลากเรือใน CFD [5]



รูปที่ 4.15 การแบ่งกริดของตัวเรือทอ้งคู่ Model 2 [5]



รูปที่ 4.16 การแบ่งกริดของตัวเรือท้องคู่ Model 3



รูปที่ 4.17 การแบ่งกริดของตัวเรือท้องคู่ Model 4

จากนั้นได้นำ Model 3 มาพัฒนาการแบ่งกริดปริมาตรควบคุมให้มีความละเอียดมากขึ้นมีจำนวนกริด 1,235,379 เซลล์ เป็น Model 4 ดังรูปที่ 4.17 โดยกำหนดให้ Model 3 และ Model 4 มีการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตที่เหมือนกัน เพื่อเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดที่เกิดจากความละเอียดของจำนวนกริด ตามตารางที่ 4.3 ในการจำลอง CFD ได้นำ Model 3 และ Model 4 ทดสอบในช่วงความเร็วฟรูดนัมเบอร์ 0.5 - 0.7 ดังรูปที่ 4.18 - 4.29 โดยกำหนดค่าคงที่และเงื่อนไขขอบเขตตาม Model 1 ทำการบันทึกค่า Pressure force ทำการคำนวณและบันทึกค่าได้ตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบแบบจำลองเรือท้องคู่

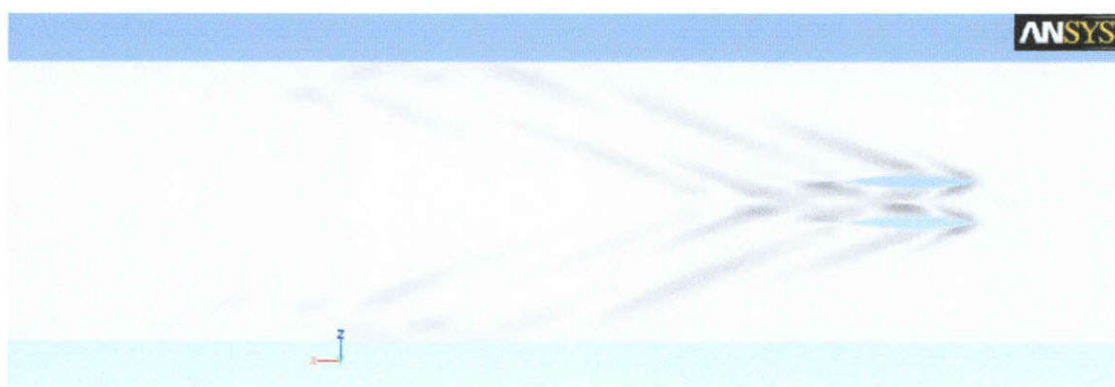
No.	Name	Flow	Grid (cell)	S (m ²)	Validate
1	Model 2 [5]	Viscous	897,846	0.964	-
2	Model 3	Inviscid	897,846	0.964	Inviscid model
3	Model 4	Inviscid	1,235,379	0.964	Grid amount



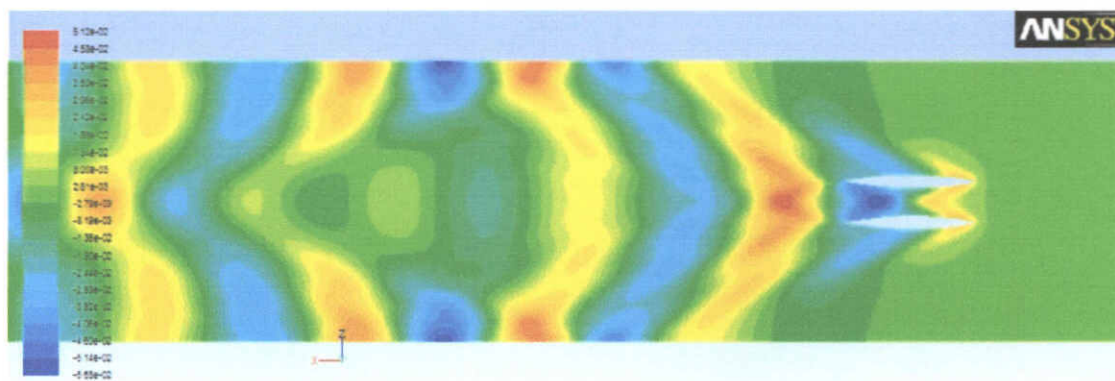
รูปที่ 4.18 รูปแบบคลื่น (Wave Pattern) ที่เกิดจากเรือห้องคู่ Model 3 ที่ F_n เท่ากับ 0.5



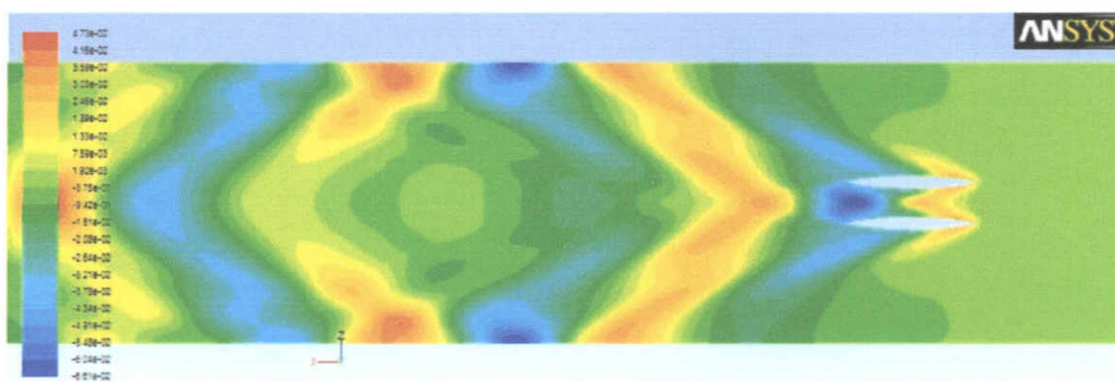
รูปที่ 4.19 รูปแบบคลื่น (Wave Pattern) ที่เกิดจากเรือห้องคู่ Model 3 ที่ F_n เท่ากับ 0.6



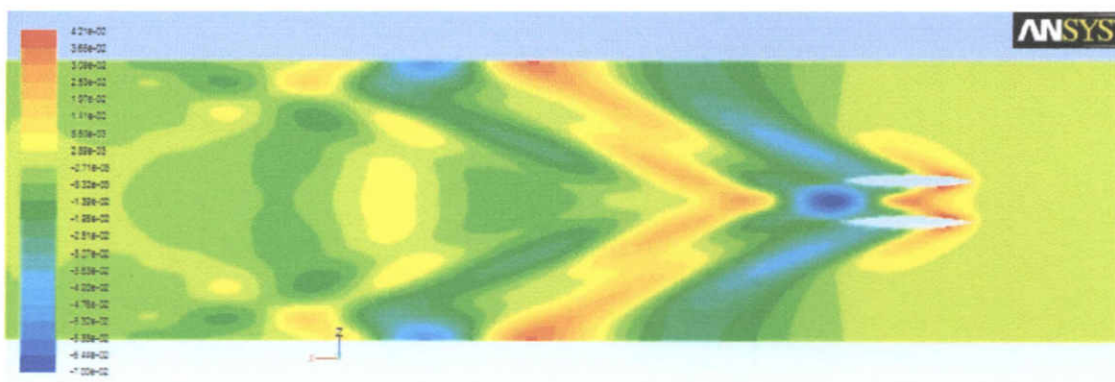
รูปที่ 4.20 รูปแบบคลื่น (Wave Pattern) ที่เกิดจากเรือห้องคู่ Model 3 ที่ F_n เท่ากับ 0.7



รูปที่ 4.21 ระดับคลื่น (Wave Contour) ที่เกิดจากเรือห้องคู่ Model 3 ที่ F_n เท่ากับ 0.5



รูปที่ 4.22 ระดับคลื่น (Wave Contour) ที่เกิดจากเรือห้องคู่ Model 3 ที่ F_n เท่ากับ 0.6



รูปที่ 4.23 ระดับคลื่น (Wave Contour) ที่เกิดจากเรือห้องคู่ Model 3 ที่ F_n เท่ากับ 0.7



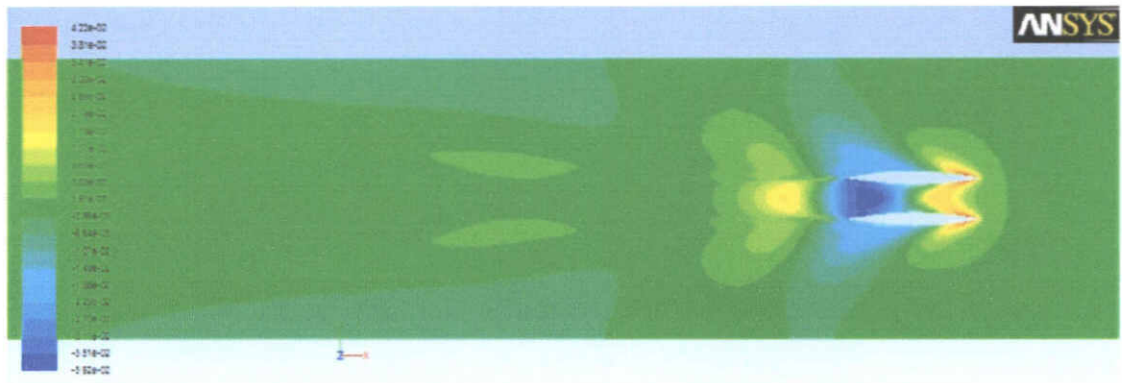
รูปที่ 4.24 รูปแบบคลื่น (Wave Pattern) ที่เกิดจากเรือท้องคู่ Model 4 ที่ F_n เท่ากับ 0.5



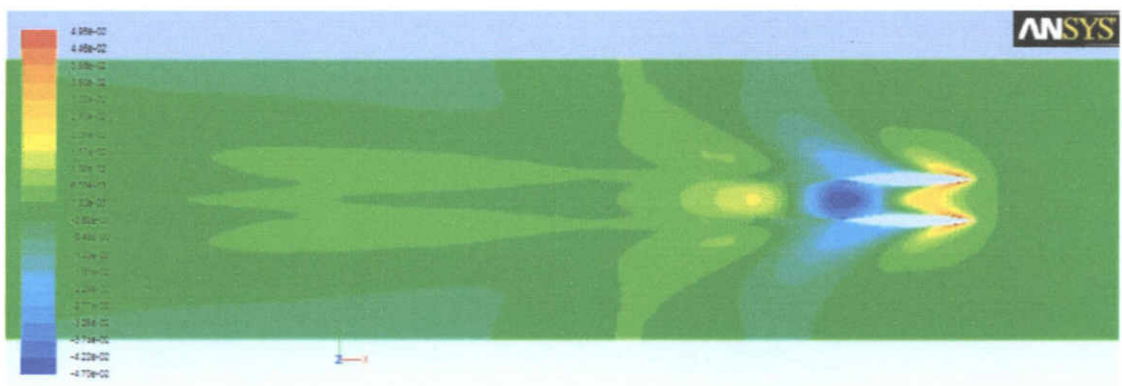
รูปที่ 4.25 รูปแบบคลื่น (Wave Pattern) ที่เกิดจากเรือท้องคู่ Model 4 ที่ F_n เท่ากับ 0.6



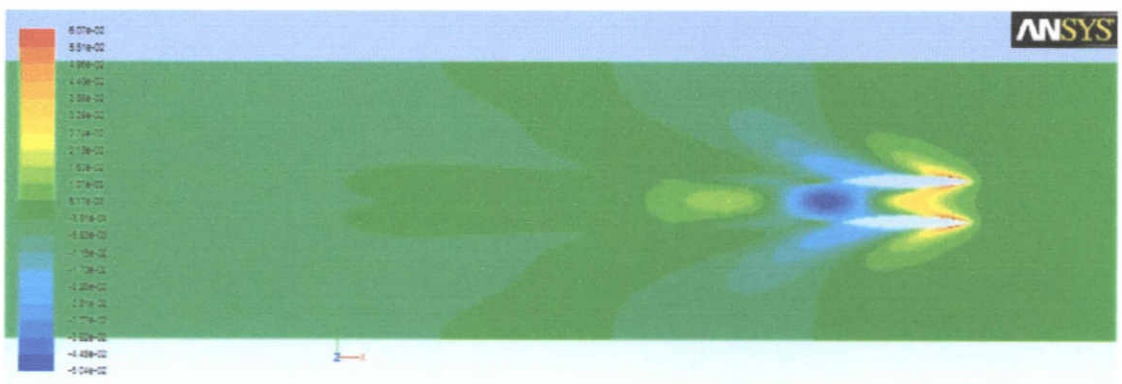
รูปที่ 4.26 รูปแบบคลื่น (Wave Pattern) ที่เกิดจากเรือท้องคู่ Model 4 ที่ F_n เท่ากับ 0.7



รูปที่ 4.27 ระดับคลื่น (Wave Contour) ที่เกิดจากเรือห้องคู่ Model 4 ที่ F_n เท่ากับ 0.5



รูปที่ 4.28 ระดับคลื่น (Wave Contour) ที่เกิดจากเรือห้องคู่ Model 4 ที่ F_n เท่ากับ 0.6

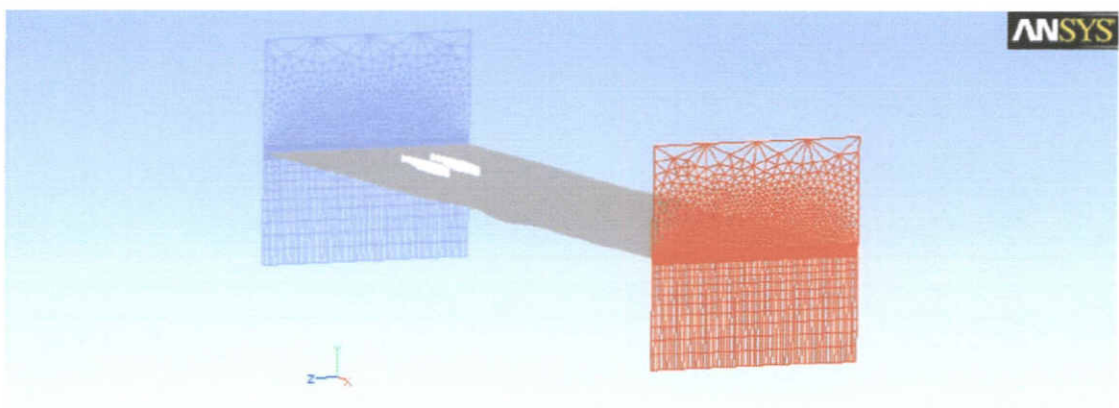


รูปที่ 4.29 ระดับคลื่น (Wave Contour) ที่เกิดจากเรือห้องคู่ Model 4 ที่ F_n เท่ากับ 0.7

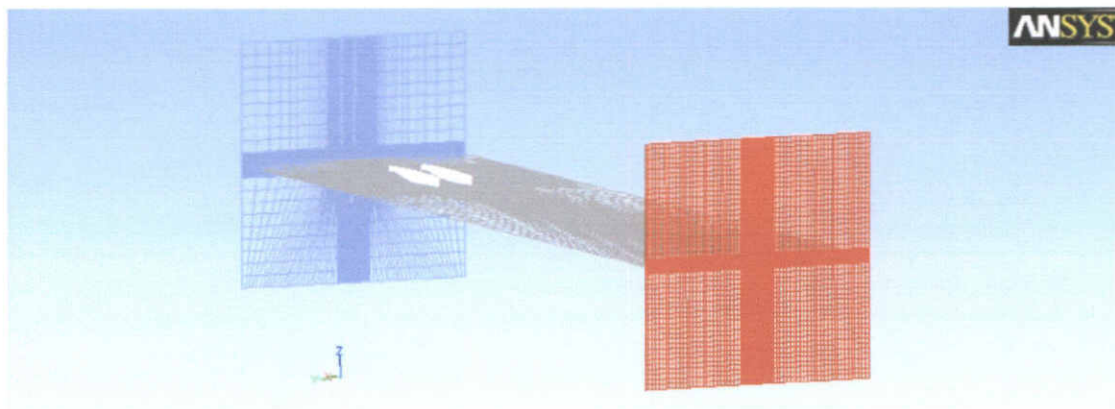
ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นของเรือท้องคู้ (Model 2 – Model 4)

No.	F_n	V (m/s)	C_w (Exp.)	R_w (N) (CFD)	C_w (CFD)	Error (%) (C_w)
Model 2 [5] (Viscous, Grid 897,846 cell)						
1	0.5	2.101	0.00488	-	0.01143	134.27
2	0.6	2.521	0.00381	-	0.00905	137.55
3	0.7	2.941	0.00311	-	0.00731	135.15
Model 3 (Inviscid, Grid 897,846 cell)						
1	0.5	2.101	0.00488	11.3974	0.00537	9.98
2	0.6	2.521	0.00381	11.8667	0.00388	1.81
3	0.7	2.941	0.00311	13.7598	0.00331	6.38
Model 4 (Inviscid, Grid 1,235,379 cell)						
1	0.5	2.101	0.00488	10.3560	0.00488	0.07
2	0.6	2.521	0.00381	11.3188	0.00370	2.89
3	0.7	2.941	0.00311	12.8856	0.00310	0.38

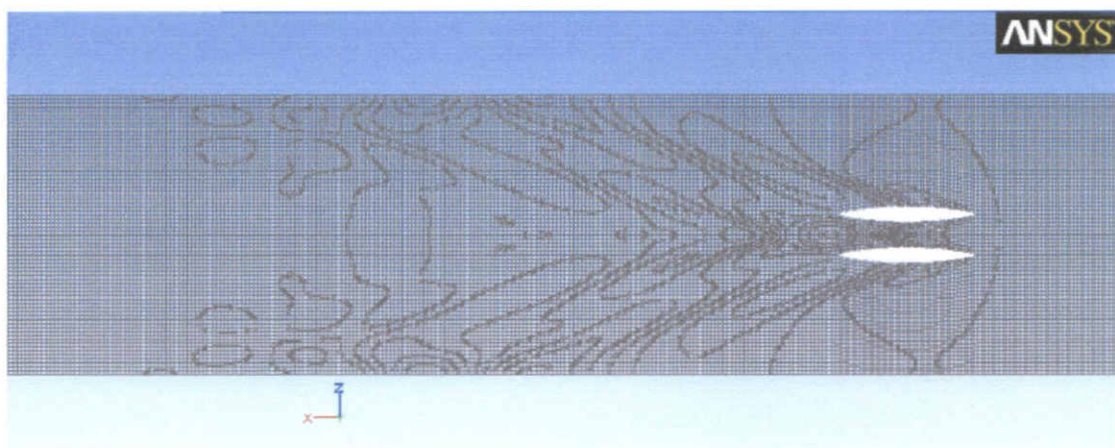
จากการจำลองของไหลผ่านตัวเรือ Model 3 และ Model 4 ดังรูปที่ 4.18 – 4.29 พบว่ารูปแบบคลื่น (Wave Pattern) และระดับคลื่น (Wave Contour) มีความแตกต่างกันเนื่องมาจากแบบจำลองการไหลใน Model 3 มีลักษณะการแบ่งกริดที่บริเวณผิวน้ำแตกต่างกับ Model 4 ซึ่งเป็นกริดแบบผสมด้วยกริดสี่เหลี่ยมและกริดหกหน้า (Quadrilateral and Hexahedral) ทั้งปริมาตรควบคุม ในขณะที่ Model 3 ได้แนวคอดฟ้าใช้การแบ่งกริดหกหน้า (Hexahedron) และเหนือแนวน้ำใช้การแบ่งกริดแบบสามเหลี่ยมและกริดสี่หน้า (Triangular and Tetrahedral) ดังรูปที่ 4.30 และรูปที่ 4.31



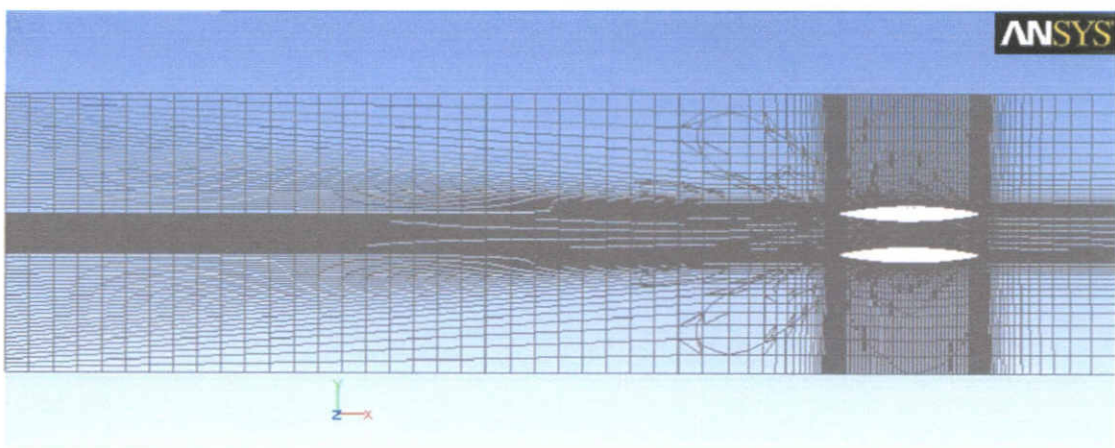
รูปที่ 4.30 การแบ่งกริดเหนือแนวน้ำของเรือท้องคู้ Model 3



รูปที่ 4.31 การแบ่งกริดเหนือแนวน้ำของเรือท้องคู่ Model 4

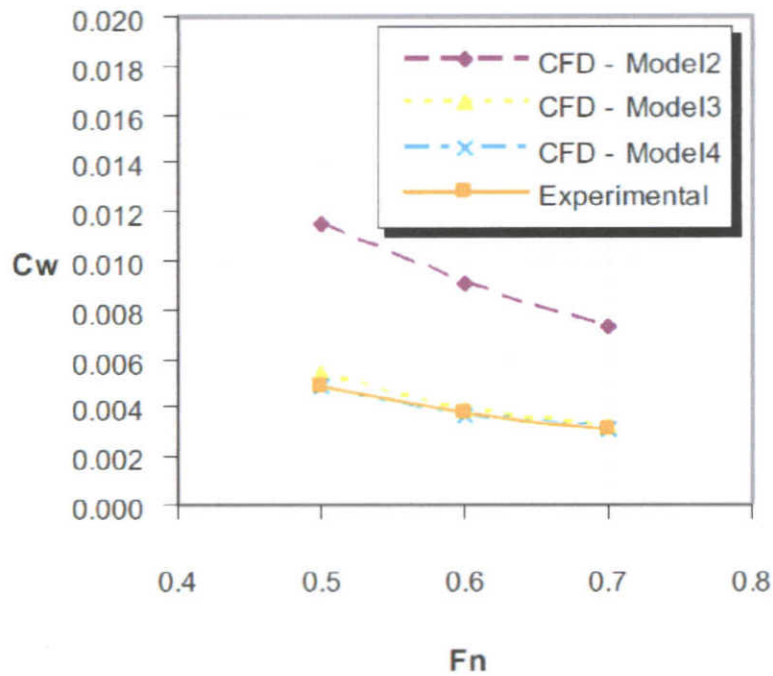


รูปที่ 4.32 การแบ่งกริดบริเวณผิวน้ำของเรือท้องคู่ Model 3 ที่ F_n เท่ากับ 0.7



รูปที่ 4.33 การแบ่งกริดบริเวณผิวน้ำของเรือท้องคู่ Model 4 ที่ F_n เท่ากับ 0.7

ทั้งสองแบบจำลองมีลักษณะสอดคล้องกับพฤติกรรมการเกิดคลื่นของเรือที่มีความเร็วสูงขึ้น และสอดคล้องกับแรงต้านทานคลื่นที่มีค่าลดลงเนื่องจากขนาดความลึกของคลื่นที่ลดต่ำลงเช่นเดียวกับ Model 1 โดยที่แบบจำลอง Model 3 แสดงระดับของคลื่นได้ชัดเจนมากกว่าแบบจำลอง Model 4 เนื่องจาก ความหนาแน่นของการแบ่งกริดที่ Model 3 มีการแบ่งกริดที่หนาแน่นสม่ำเสมอตลอดแนวน้ำตามยาว แต่ Model 4 มีการแบ่งกริดที่หนาแน่นเฉพาะบริเวณตัวเรือ ดังรูปที่ 4.32 และ 4.33 เพื่อพิจารณาผลของแรงต้านทานคลื่นที่บริเวณตัวเรือมากกว่าการศึกษาการจำลองคลื่นที่เกิดจากตัวเรือในบทความต้นแบบ [5]



รูปที่ 4.34 การเปรียบเทียบค่า C_w ที่ได้จากการคำนวณ CFD กับผลการทดลองของเรือท้องคู้ [18]

นำค่า C_w จากตารางที่ 4.4 พล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์เลขฟรูดในช่วง 0.5 – 0.7 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองลากเรือจำลอง [1] ดังรูปที่ 4.34 พบว่า C_w ค่าความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณ CFD แบบ Viscous flow [5] ใน Model 2 มีค่าอยู่ระหว่าง 134 – 138% (ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 136%) และนำ Model 2 ปรับเงื่อนไข CFD เป็นแบบไม่มีความหนืดใน Model 3 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าลดลงอยู่ระหว่าง 2 – 10% (ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 6%) โดยค่าที่ได้จาก CFD มีค่ามากกว่าผลการทดลอง และนำ Model 3 แบ่งกริดเพิ่มขึ้นเป็น Model 4 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าลดลงไม่เกิน 3% (ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 1%) โดยค่าที่ได้ของเลขฟรูด 0.6 – 0.7 มีค่าน้อยกว่าผลการทดลองลากเรือจำลอง

เมื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณด้วย CFD ใน Model 2 และ 3 พบว่า การใช้การจำลองการไหลแบบไม่มีความหนืด ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงมากขึ้นเนื่องมาจากการตัดผลกระทบอันเนื่องมาจากแรง

เสียดทานผิวที่เกิดจากความหนืด และใน Model 3 และ 4 การเพิ่มจำนวนกริดและรูปแบบกริดที่ใช้ ใน Model 4 ในปริมาตรควบคุม ให้ผลการคำนวณที่มีค่าความคลาดเคลื่อนลดลง

4.3 เรือสามห้อง

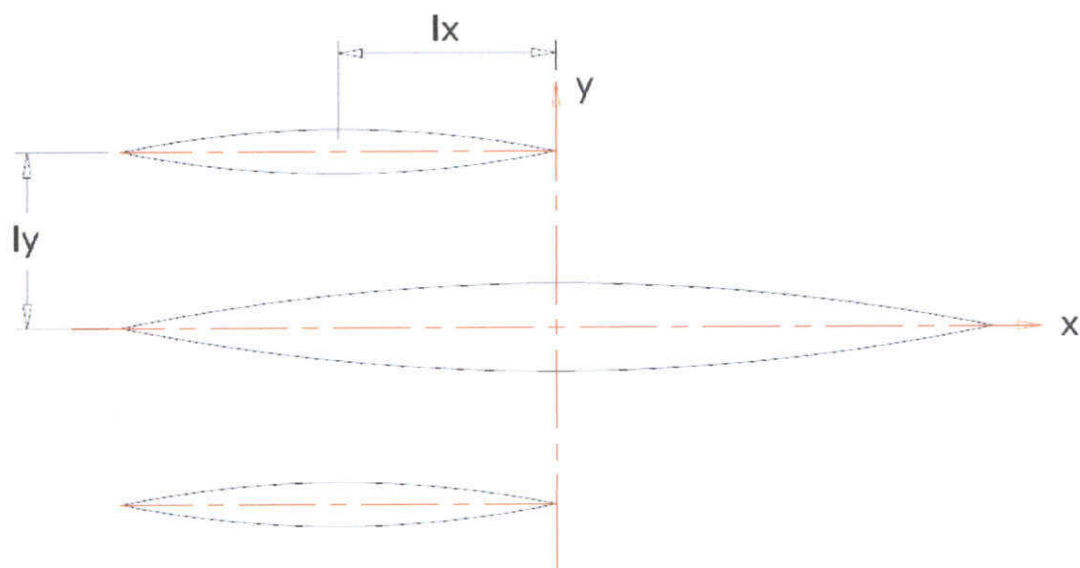
คุณลักษณะของเรือสามห้องหรือเรือไตรมารานเป็นเรือที่มีตัวเรือ 3 ห้อง การออกแบบเรือไตรมารานโดยทั่วไปจะออกแบบให้รูปทรงตัวเรือเพรียว ตัวเรือหลัก (Main hull) 1 ลำ มีขนาดยาวและตัวเรือด้านข้าง (Outrigger) 2 ลำ มีขนาดสั้น ดังรูปที่ 4.35 และ 4.36



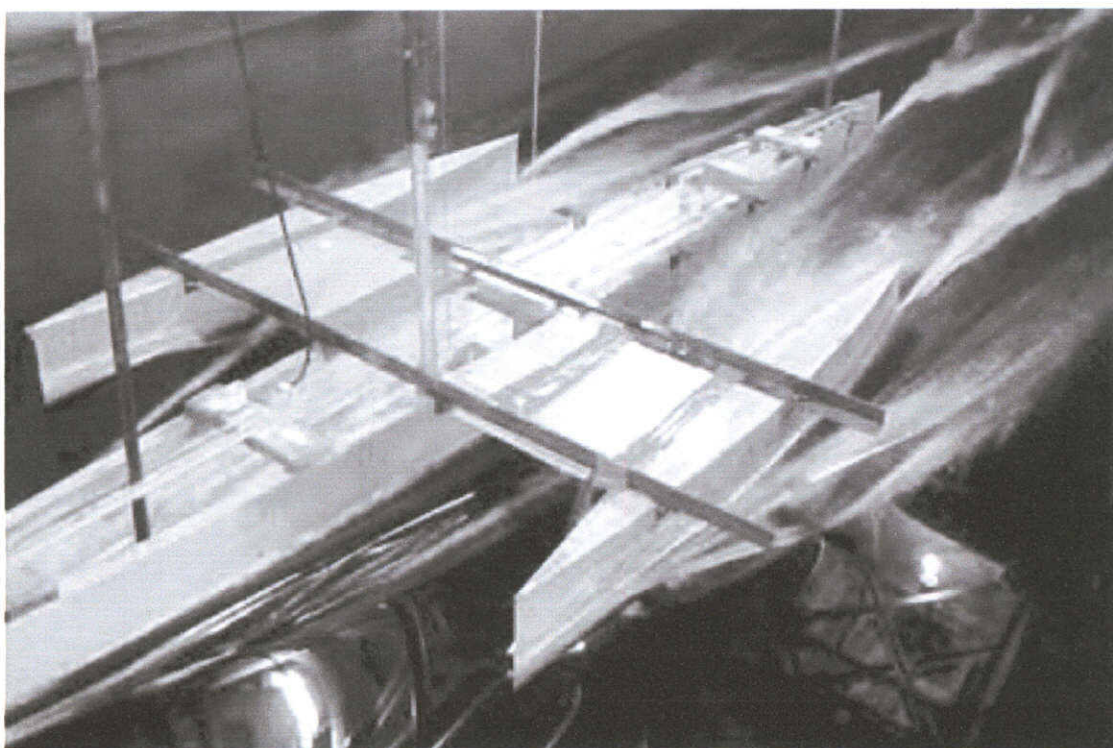
รูปที่ 4.35 แสดงตำแหน่งของตัวเรือหลัก (Main hull) และตัวเรือด้านข้าง (Outrigger) [3]

ในการวิจัยนี้ตัวเรือ Model 5 มีลักษณะเช่นเดียวกันกับ Model 1 โดยมีขนาดเท่ากัน นำมาจำลองเป็นตัวเรือสามห้อง โดยกำหนดให้ค่าระยะห่างระหว่างกึ่งกลางตัวเรือตามยาว 0 เมตร (x) และระยะห่างระหว่างกึ่งกลางตัวเรือตามขวาง 0.54 เมตร (y) ตามพิกัดแกน x และ y ตัวเรือหลักมีความยาวเป็นสองเท่าของตัวเรือด้านข้าง ดังรูปที่ 4.34 และตารางที่ 4.5 เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลการจำลองการไหลแบบไม่มีความหนืด (Inviscid flow) ที่ได้จาก Model 5 กับผลจากการทดลองลากเรือจำลองในถังลากเรือ [19] ที่ความเร็วฟรูดนัมเบอร์ในช่วง 0.33 – 0.392 และใน Model 6 ดังรูปที่ 4.37 ตามตารางที่ 4.6 โดยมีระยะห่างระหว่างกึ่งกลางตัวเรือตามยาว 0 เมตร (x) และระยะห่างระหว่างกึ่งกลางตัวเรือตามขวาง 0.75 เมตร (y) ตามพิกัดแกน x และ y ที่ความเร็วฟรูดนัมเบอร์ในช่วง 0.2 - 0.829 เทียบกับผลการทดลองลากเรือจำลองในถังลากเรือ [20] เพื่อศึกษาความคลาดเคลื่อนในช่วงความเร็วฟรูดนัมเบอร์ต่างๆ โดยใน Model 6 ทำการจำลองในถังลากเรือขนาดความยาว 40 เมตร ความกว้าง 10 เมตร ความลึก 10 เมตร ระดับน้ำลึก 5 เมตร โดยกำหนดให้หัวเรืออยู่ห่างจากทางเข้าของของไหล 5 เมตร ทั้ง Model 5 และ 6 ทำการแบ่งกริดลักษณะ

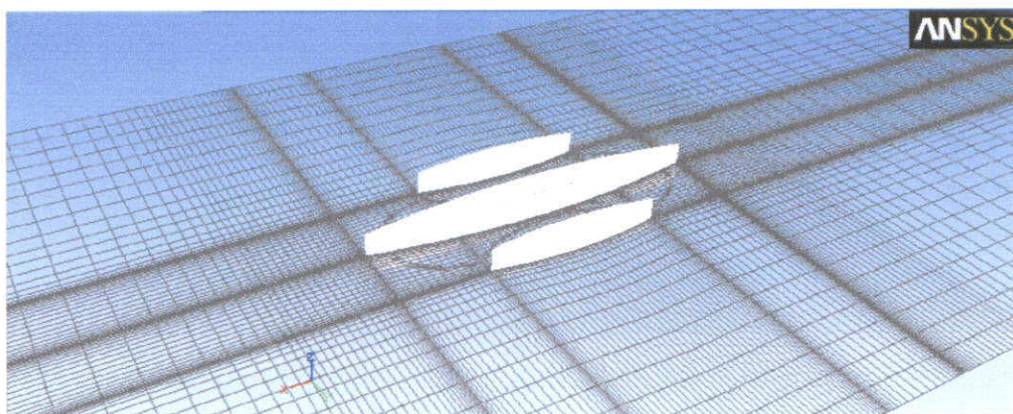
เช่นเดียวกับกับ Model 1 และ 4 เป็นกริดแบบผสมด้วยกริดสี่เหลี่ยมและกริดหกหน้า (Quadrilateral and Hexahedral) ทั้งปริมาตรควบคุม และแบ่งกริดให้มีความหนาแน่นเฉพาะ บริเวณตัวเรือ ดังรูปที่ 4.38 และ 4.39



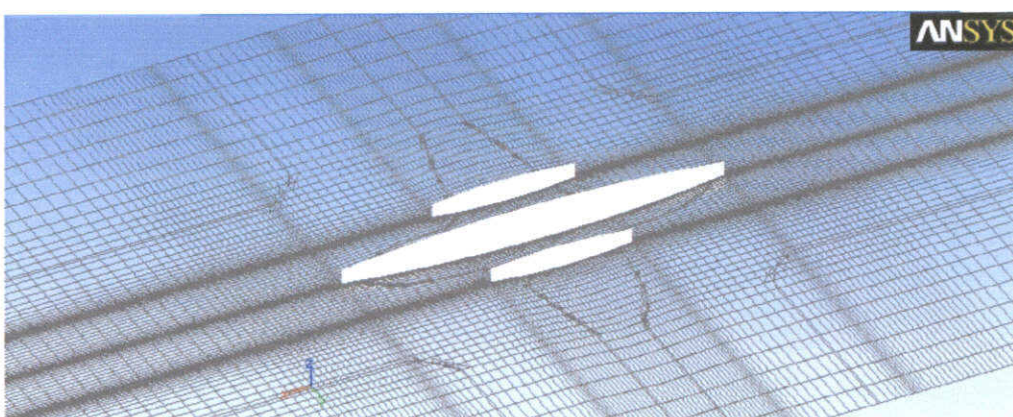
รูปที่ 4.36 แสดงระยะห่างของตัวเรือไตรมาราน



รูปที่ 4.37 การทดลองลากเรือจำลองในถังลากเรือ Model 6 [20]



รูปที่ 4.38 การแบ่งกริดของตัวเรือสามห้อง Model 5



รูปที่ 4.39 การแบ่งกริดของตัวเรือสามห้อง Model 6

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลแสดงรายละเอียดของตัวเรือสามห้องจำลอง Model 5

Model	Main Hull	Outrigger
L	1.800	0.9
L/B	10.000	10.000
B/T	1.600	1.600
$L/\nabla^{1/3}$	7.116	7.116
C_B	0.444	0.444
C_p	0.667	0.667
C_M	0.667	0.667
WS	0.482	0.1204
l_x	0.00	
l_y	0.54	

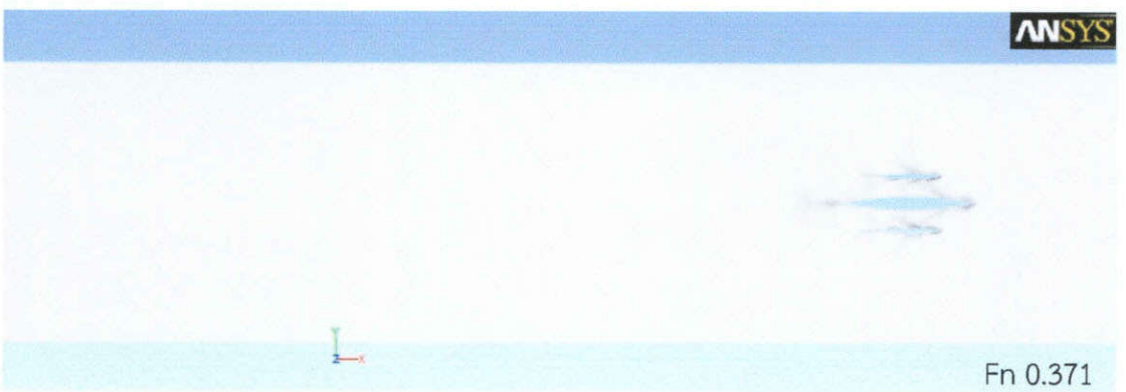
ตารางที่ 4.6 ข้อมูลแสดงรายละเอียดของตัวเรือสามห้องจำลอง Model 6 [20]

	Main hull	Side hull	Total
Length L	5 m	1.842 m	5 m
Breadth B	0.4 m	0.147 m	1.647 m
Draft T	0.178 m	0.066 m	0.178 m
Displacement	158.22 kg	7.94 kg	174.1 kg
Wetted surface	2.3629 m ²	0.3207 m ²	3.004 m ²
L/B	12.5	12.5	
B/T	2.25	2.25	
C_b	0.44	0.44	

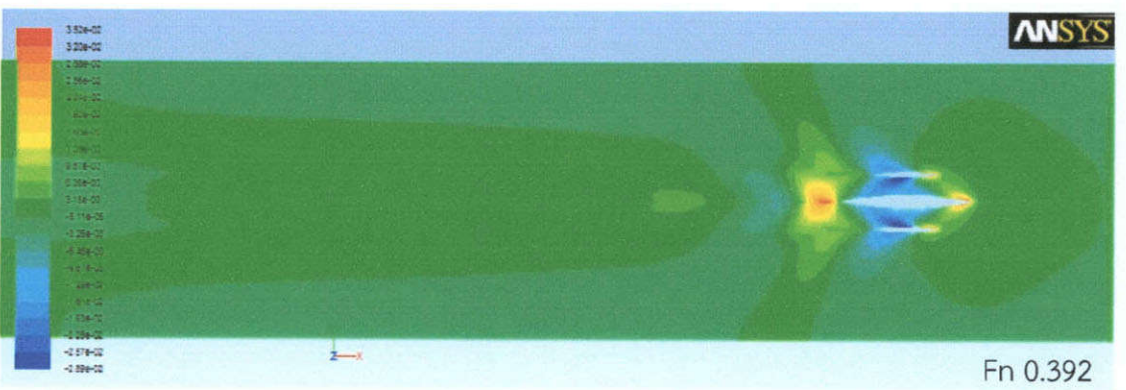
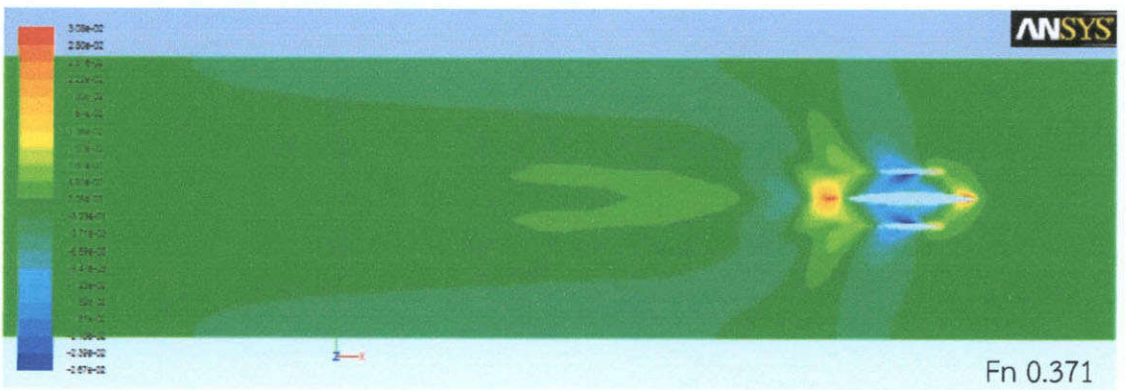
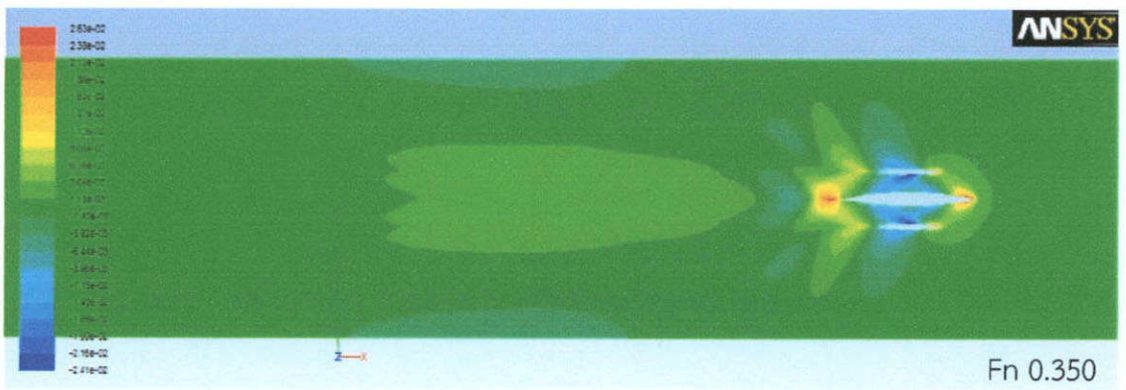
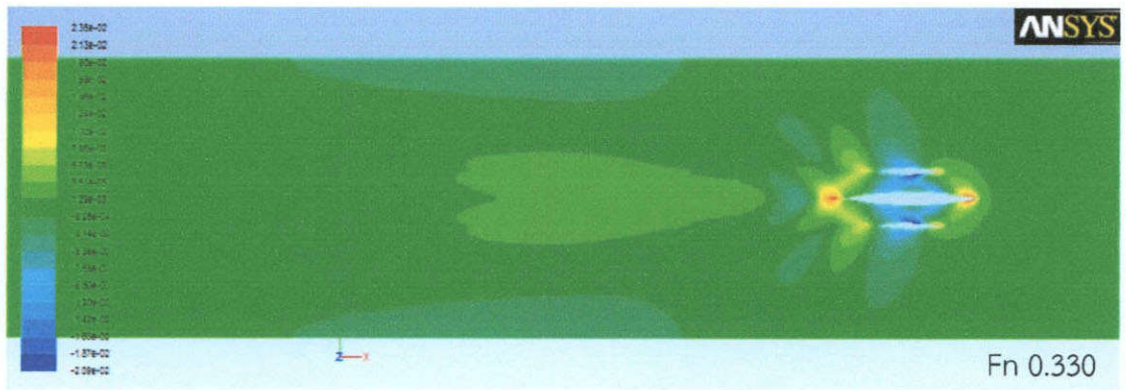
จากการจำลอง CFD ด้วยวิธีการเช่นเดียวกับ Model 1, 3 และ 4 ดังรูปที่ 4.40 – 4.47 ทำการบันทึกค่า Pressure force และทำการคำนวณและบันทึกค่าได้ตามตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นของเรือสามห้อง (Model 5 – Model 6)

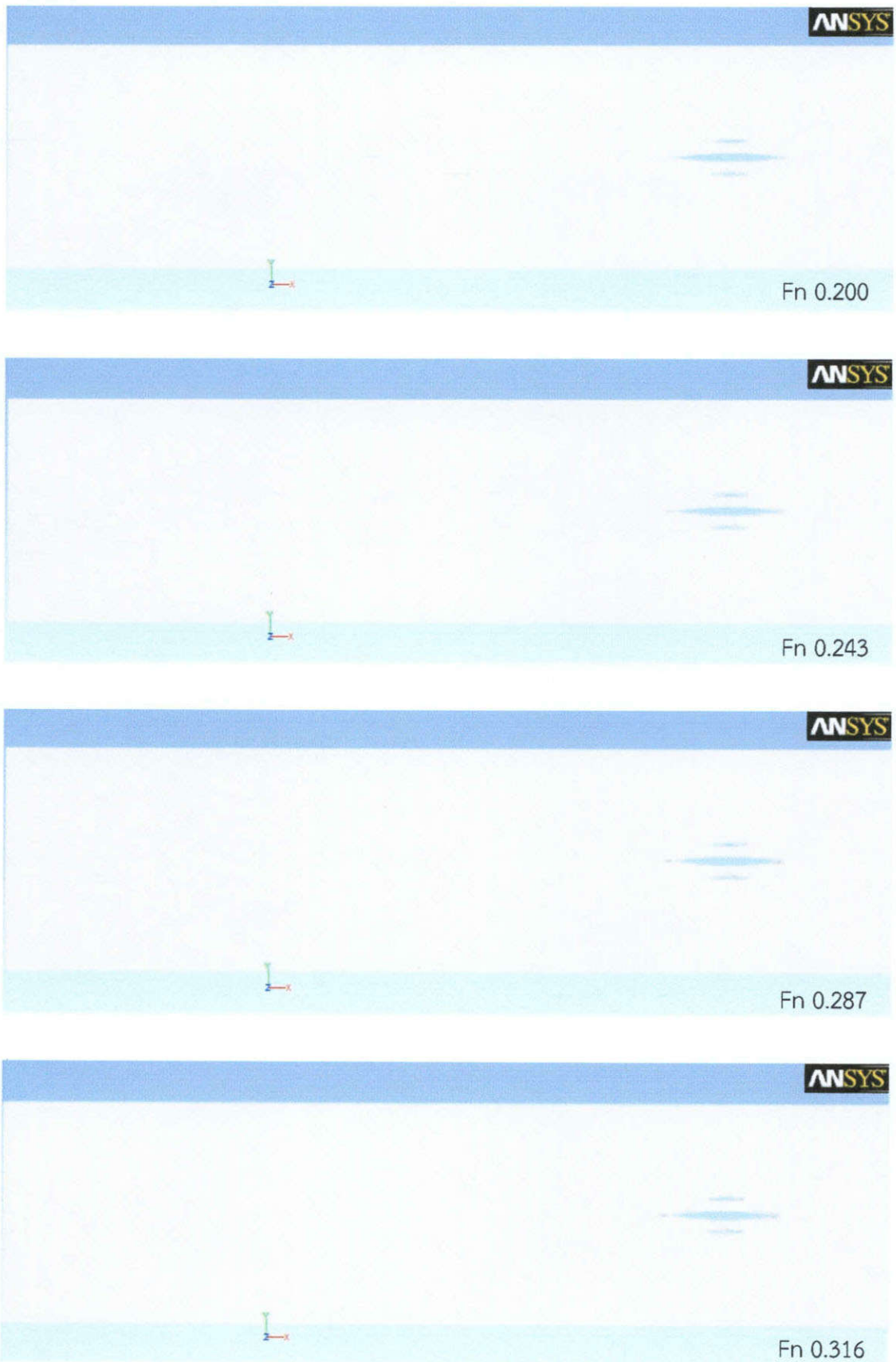
No.	F_n	V (m/s)	C_w (Exp.)	R_w (N) (CFD)	C_w (CFD)	Error (%) (C_w)
Model 5 (Grid 1,164,412 cell) [18]						
1	0.330	1.387	0.001836	1.6836332	0.00243	32.19
2	0.350	1.471	0.002492	2.1873105	0.00280	12.48
3	0.371	1.559	0.003184	2.9028858	0.00331	3.98
4	0.392	1.647	0.004697	3.7730147	0.00385	17.94
Model 6 (Grid 1,547,712 cell)						
1	0.200	1.401	0.000896	2.1247465	0.00072	19.39
2	0.243	1.702	0.001204	4.2415649	0.00098	18.88
3	0.287	2.010	0.000651	5.5676861	0.00092	41.18
4	0.316	2.213	0.000914	6.9780743	0.00095	3.95
5	0.429	3.005	0.002946	22.446026	0.00166	43.71
6	0.544	3.810	0.002410	36.572949	0.00168	30.28
7	0.658	4.608	0.001748	43.475996	0.00137	21.89
8	0.714	5.001	0.001583	46.840257	0.00125	21.08
9	0.772	5.407	0.001469	50.434968	0.00115	21.67
10	0.829	5.806	0.001469	54.128496	0.00107	27.10



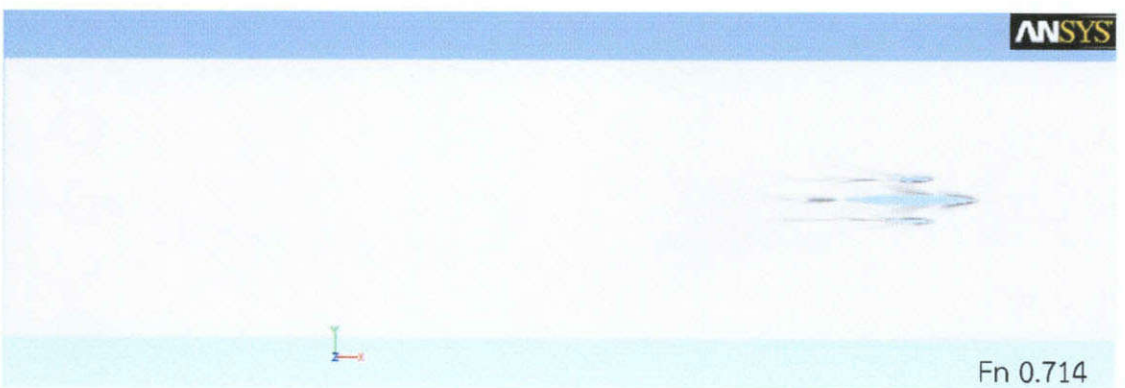
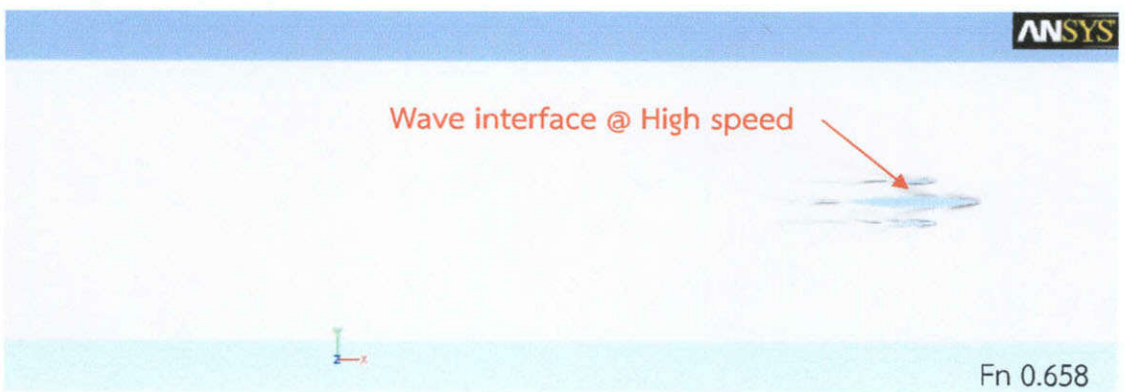
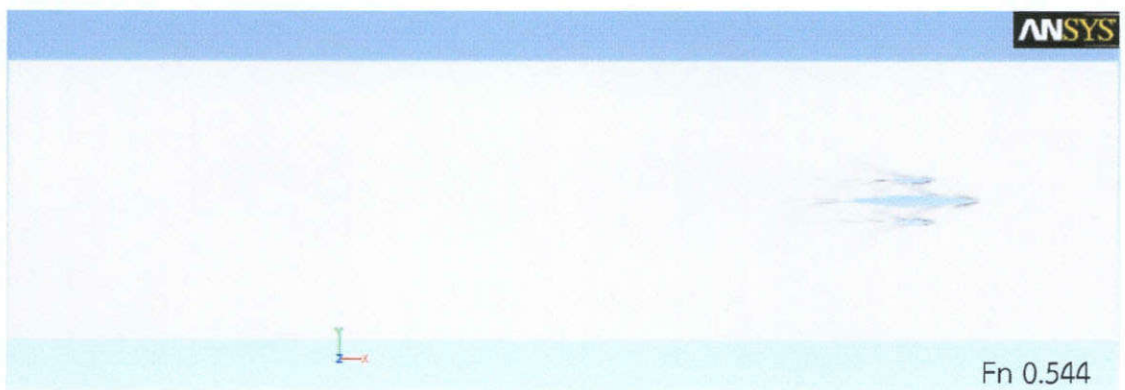
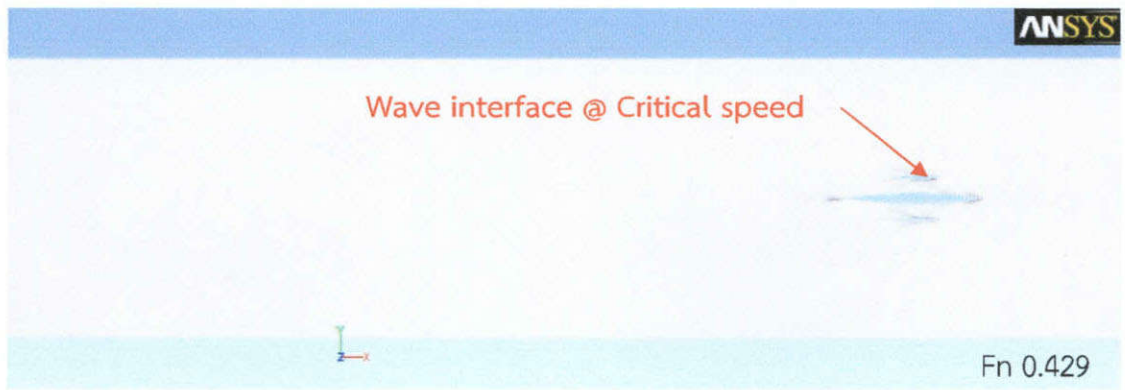
รูปที่ 4.40 รูปแบบคลื่น (Wave Pattern) Model 5 ในช่วง Fn เท่ากับ 0.330 – 0.392



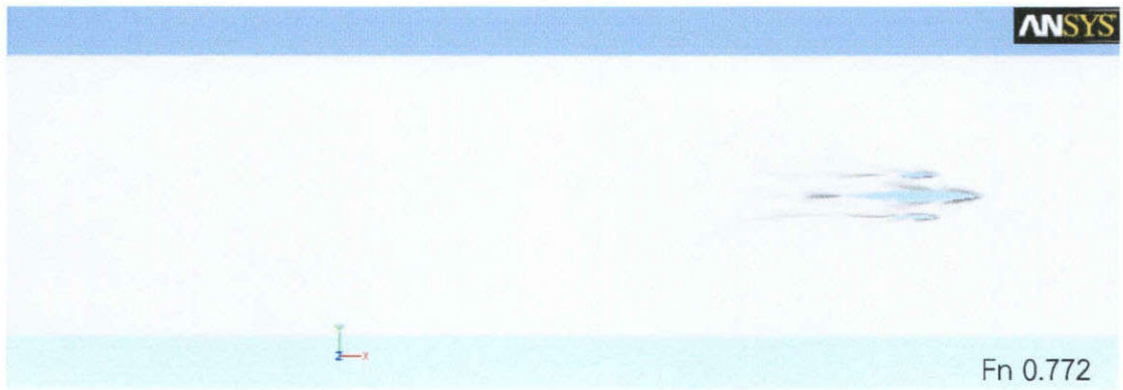
รูปที่ 4.41 ระดับคลื่น (Wave Contour) Model 5 ในช่วง Fn เท่ากับ 0.330 – 0.392



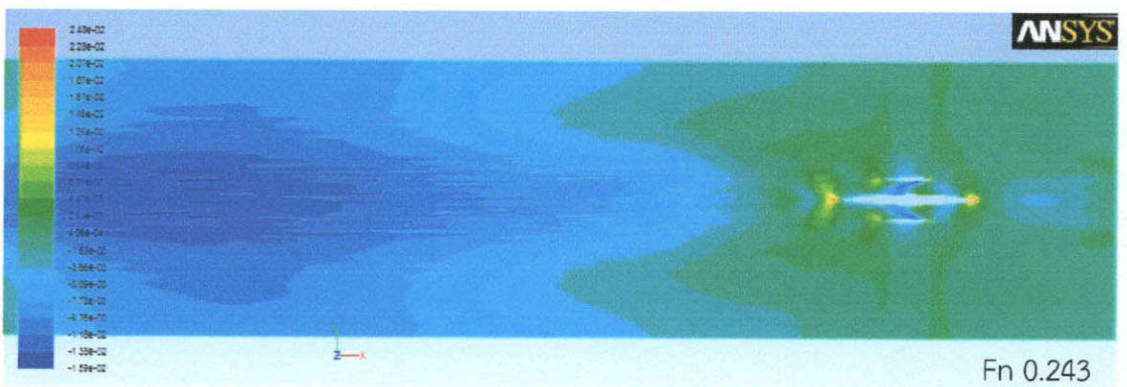
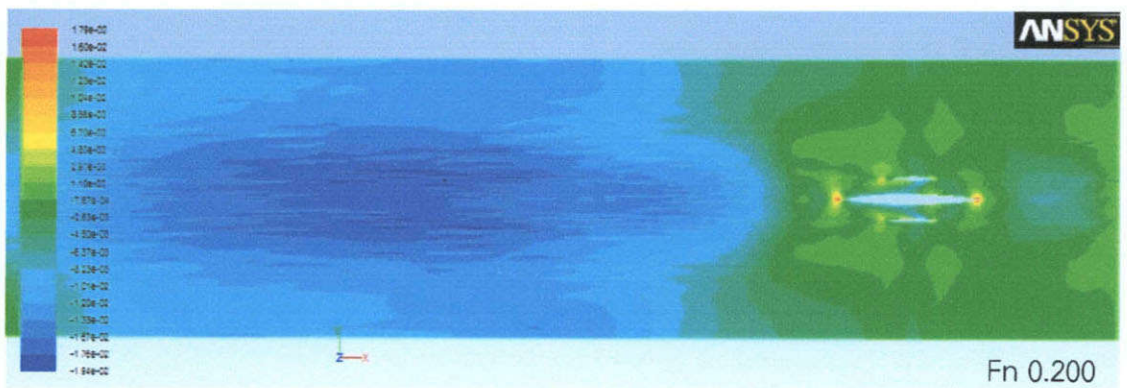
รูปที่ 4.42 รูปแบบคลื่น (Wave Pattern) Model 6 ในช่วง Fn เท่ากับ 0.200 – 0.316



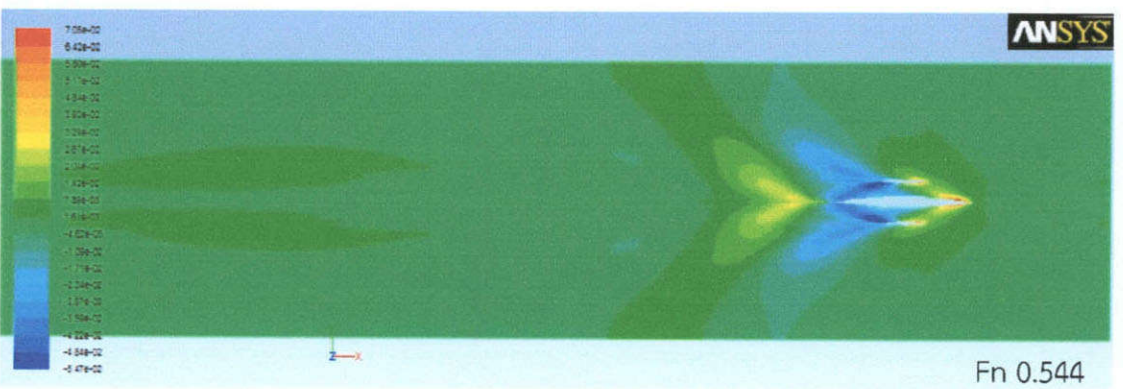
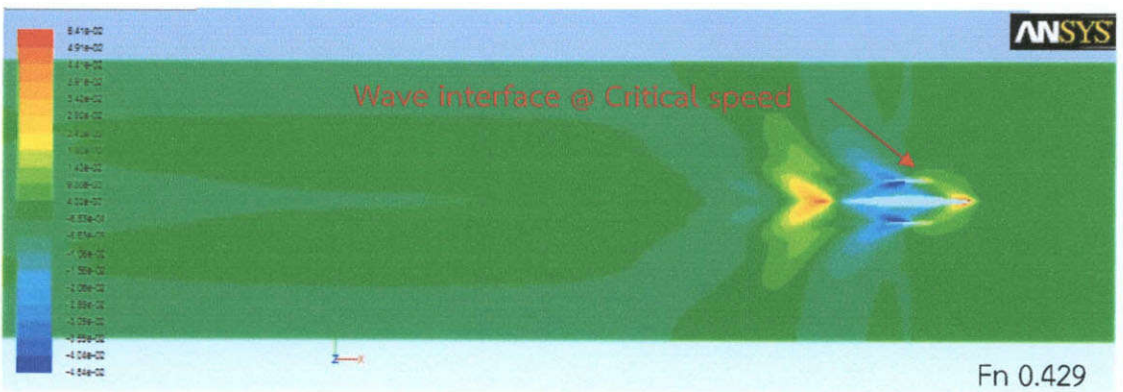
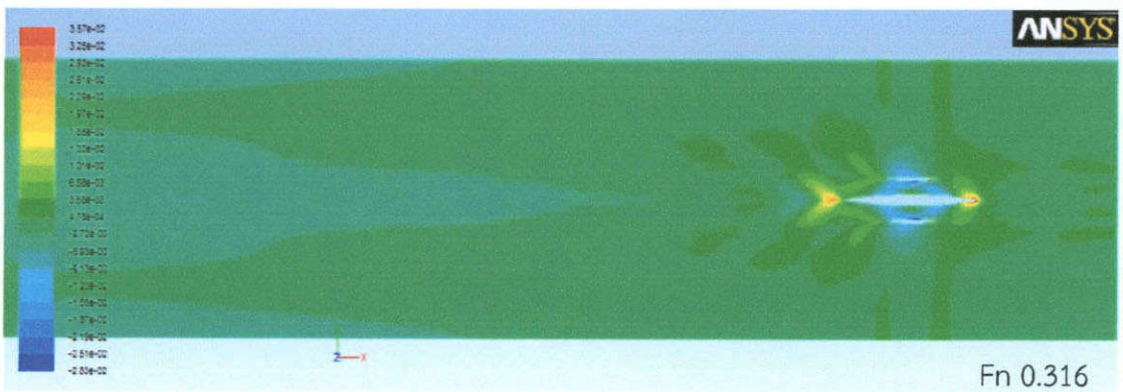
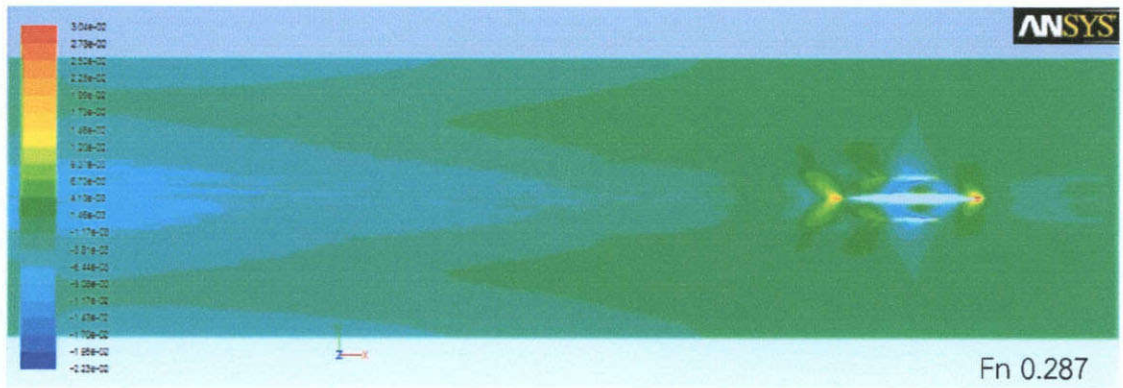
รูปที่ 4.43 รูปแบบคลื่น (Wave Pattern) Model 6 ในช่วง Fn เท่ากับ 0.429 – 0.714



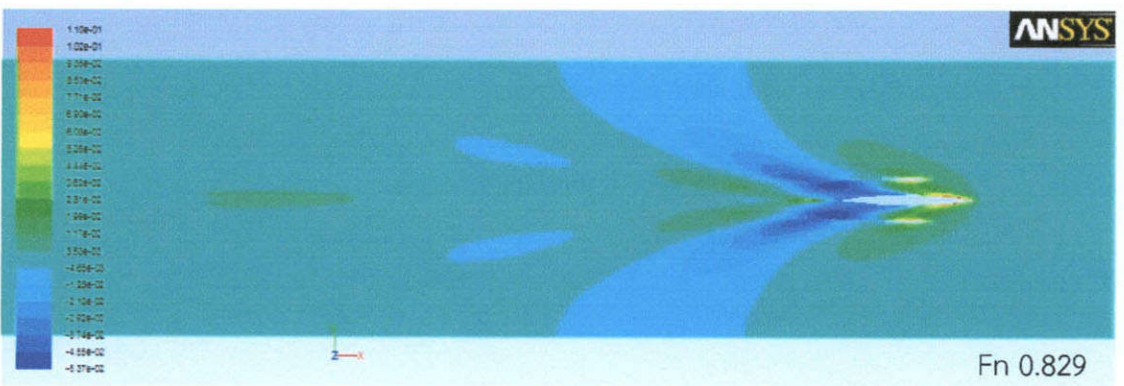
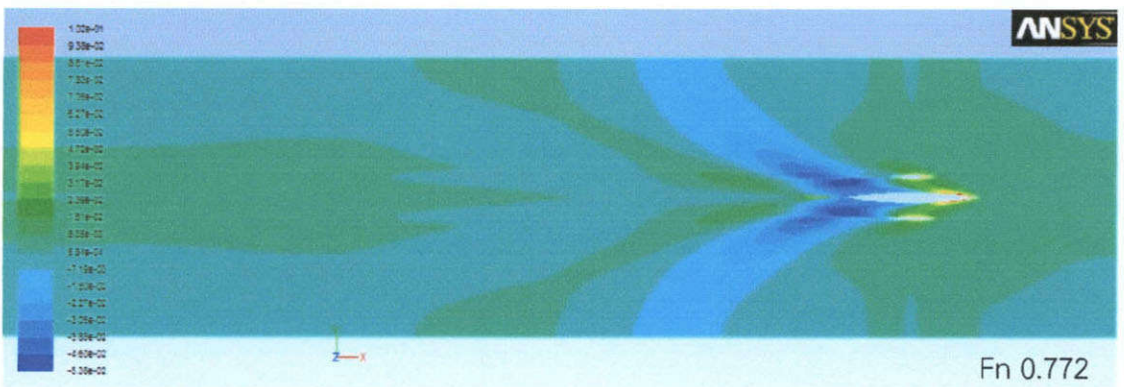
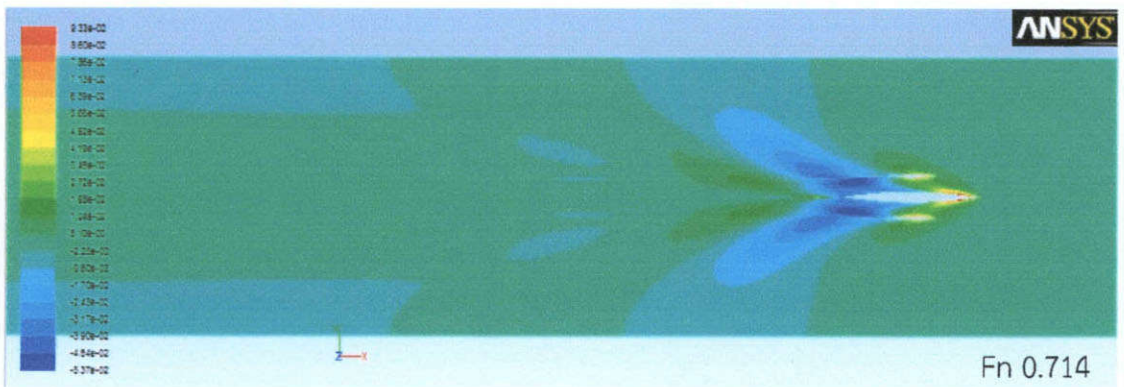
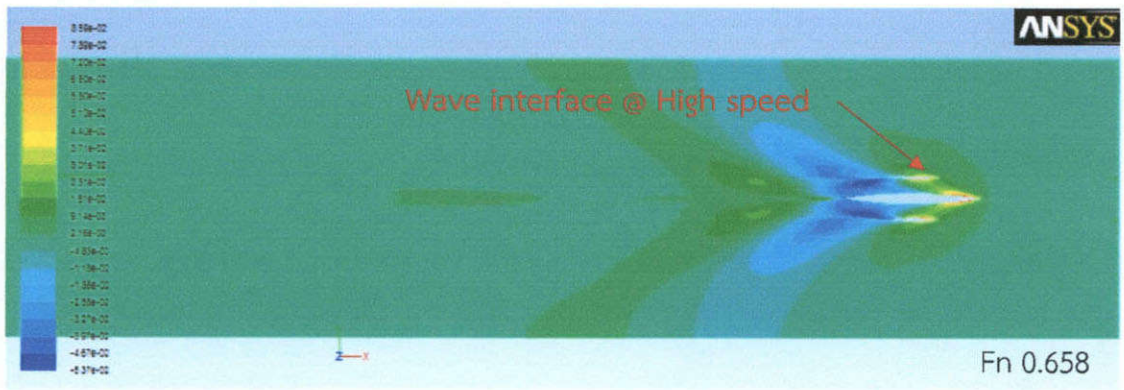
รูปที่ 4.44 รูปแบบคลื่น (Wave Pattern) Model 6 ในช่วง Fn เท่ากับ 0.772 – 0.829



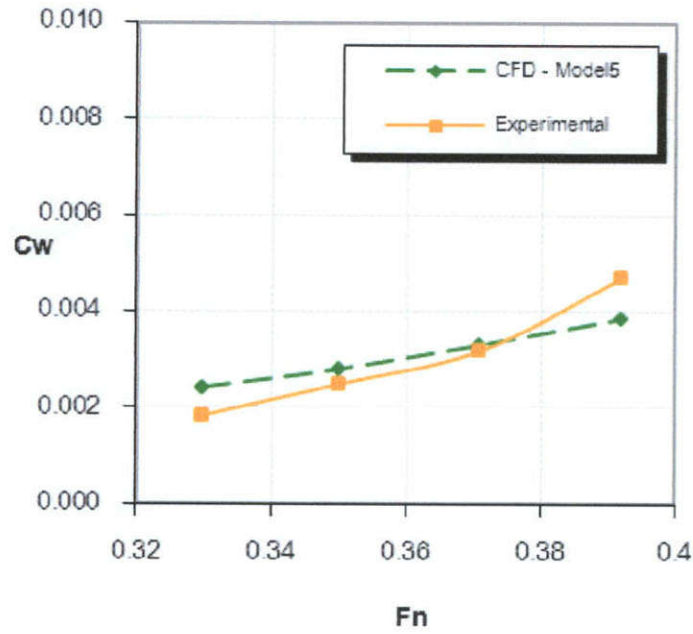
รูปที่ 4.45 ระดับคลื่น (Wave Contour) Model 6 ในช่วง Fn เท่ากับ 0.200 – 0.243



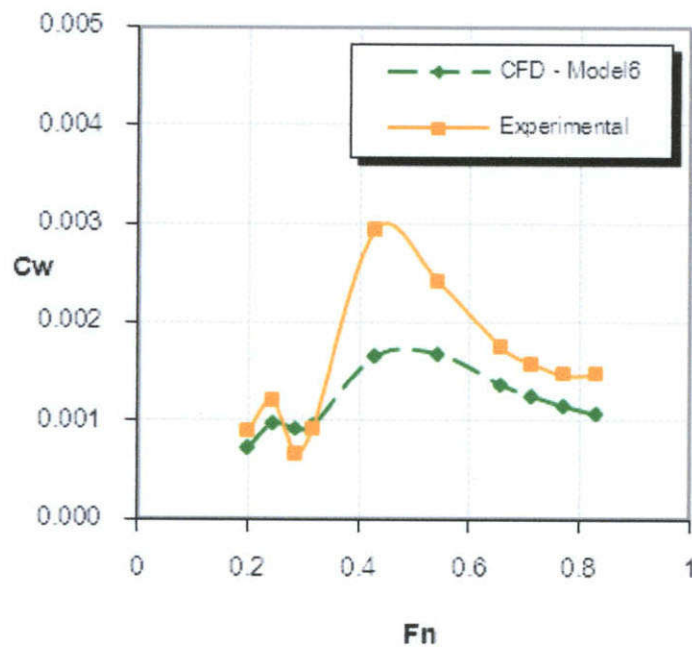
รูปที่ 4.46 ระดับคลื่น (Wave Contour) Model 6 ในช่วง Fn เท่ากับ 0.287 – 0.544



รูปที่ 4.47 ระดับคลื่น (Wave Contour) Model 6 ในช่วง Fn เท่ากับ 0.658 – 0.829



รูปที่ 4.48 การเปรียบเทียบค่า C_w ที่ได้จากการคำนวณ CFD กับผลการทดลอง Model 5 [18]



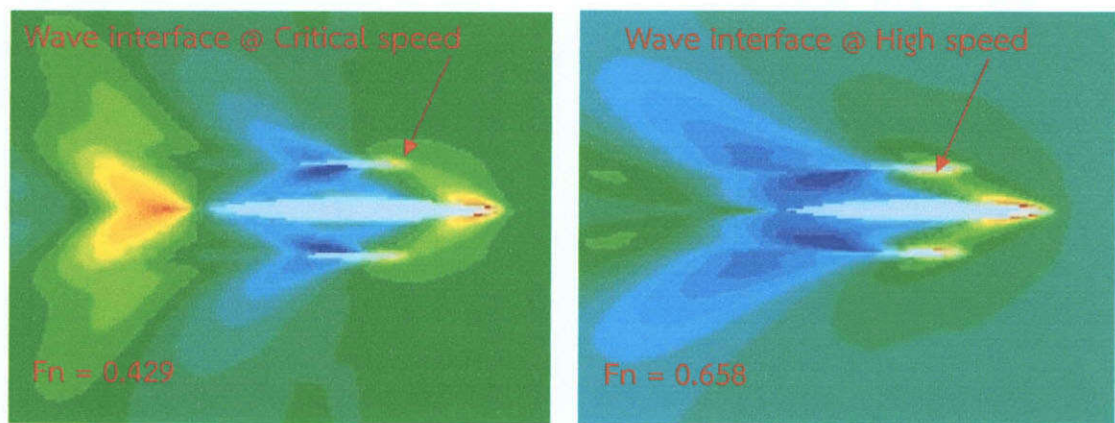
รูปที่ 4.49 การเปรียบเทียบค่า C_w ที่ได้จากการคำนวณ CFD กับผลการทดลอง Model 6

ใน Model 5 เป็นการจำลองเรือสามห้องที่ความเร็วต่ำพบว่า จากรูปที่ 4.40 รูปแบบคลื่นในช่วงความเร็ว F_n เท่ากับ 0.330 – 0.392 รูปแบบคลื่นมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากและมีลักษณะที่สอดคล้องกับพฤติกรรมการเกิดคลื่นของเรือและมีลักษณะใกล้เคียงกับ Model 6 ในรูปที่ 4.42

ใน Model 5 ในรูปที่ 4.41 ระดับคลื่นของเรือสามห้องมีลักษณะใกล้เคียงกับรูปที่ 4.46 ของ Model 6 และมีลักษณะการเกิดคลื่นคล้ายคลึงกับเรือห้องเดียวในรูปที่ 4.9 ที่ความเร็ว F_n เท่ากับ

0.544 โดยที่ตัวเรือหลักและด้านข้างให้ลักษณะการเกิดคลื่นเหมือนตัวเรือท้องเดียวแต่มีการแทรกสอดร่วมกันจากคลื่นแต่ละตัวเรือที่บริเวณกลางลำของตัวเรือหลักเกิดท้องคลื่นสูงสุด

รูปที่ 4.42 – 4.44 พบว่ารูปแบบคลื่น (Wave Pattern) เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดในช่วงความเร็ว F_n เท่ากับ 0.429 ซึ่งเป็นช่วงความเร็ววิกฤต (Critical speed) และในช่วงความเร็ว F_n ต่ำในรูปที่ 4.42 และ 4.45 ระดับคลื่นมีความแปรปรวนเป็นวงกว้างที่ผิวน้ำบริเวณท้ายเรือเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของความชันของคลื่นที่บริเวณหัวเรือและท้ายเรือเป็นการพัฒนาการของคลื่นจากระบบคลื่นปฐมภูมิ (Primary wave system) เป็นระบบคลื่นทุติยภูมิ (Secondary wave system) ซึ่งในช่วงนี้จะเกิดคลื่นแตกตัว (Wavebreaking) เกิดขึ้น ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของระบบคลื่นที่เกิดคลื่นแตกตัวที่ F_n ประมาณ 0.25 [11] และมีลักษณะสอดคล้องกับแรงต้านทานคลื่นที่มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากคลื่นแตกตัวที่ F_n เท่ากับ 0.243



รูปที่ 4.50 การเปรียบเทียบการเกิดการแทรกสอดของคลื่นใน Model 6

รูปที่ 4.46 ที่ความเร็ว F_n เท่ากับ 0.429 พบว่า เป็นช่วงที่เริ่มเกิดความเร็ววิกฤต (Critical speed) ซึ่งมีผลมาจาก คลื่นที่บริเวณหัวเรือหลักเกิดการรวมตัวกันที่บริเวณหัวเรือด้านข้าง (Wave interface) มีผลทำให้ค่า C_w มีค่าสูงขึ้น ดังรูปที่ 4.49 โดยเมื่อเรือเข้าสู่ช่วงความเร็วสูง (High speed) ค่า C_w มีค่าต่ำลง เนื่องจากมุมของคลื่นที่ลู่ออกพ้นช่วงหัวเรือด้านข้าง ดังรูปที่ 4.50

ในช่วง F_n เท่ากับ 0.200 – 0.316 และในรูปที่ 4.47 พบว่าเมื่อระดับยอดคลื่นบริเวณท้ายเรือลดต่ำลงตั้งแต่ F_n เท่ากับ 0.658 ระดับคลื่นมีรูปแบบเปลี่ยนไป โดยคลื่นที่เกิดจากตัวเรือหลักมีทิศทางไหลผ่านข้างในบริเวณหัวเรือด้านข้างทำให้ไม่ได้รับผลจากการรวมตัวกันของคลื่นโดยตรง เช่นเดียวกับ F_n เท่ากับ 0.429 และมีผลทำให้แรงต้านทานคลื่นมีค่าลดต่ำลง มีลักษณะสอดคล้องกับพฤติกรรมของการเกิดคลื่นของเรือที่มีความเร็วสูงขึ้น

รูปที่ 4.48 และ 4.49 พบว่า C_w สอดคล้องกับผลการทดลองเรือจำลอง และใน Model 5 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเรือมีความเร็วสูงขึ้น แรงต้านทานคลื่นมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง F_n ต่ำ ค่าความคลาด

เคลื่อนจากการคำนวณด้วย CFD กับผลการทดลองลากเรือจำลองพบว่า อยู่ระหว่าง 4 – 33% (ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 17%) โดยในช่วง F_n เท่ากับ 0.330 – 0.371 ค่าที่ได้จาก CFD มีค่ามากกว่าผลการทดลองลากเรือจำลอง และที่ F_n เท่ากับ 3.92 ค่าที่ได้จาก CFD มีค่าต่ำกว่าผลการทดลองลากเรือจำลอง และใน Model 6 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเรือมีความเร็ว F_n ในช่วง 0.200 – 0.316 แรงต้านทานคลื่นมีค่าแปรปรวนเนื่องจากการเกิดคลื่นแตกตัว และในช่วง 0.316 – 0.544 เป็นช่วงความเร็ววิกฤติที่มีแรงต้านทานคลื่นสูงชันอย่างมาก และลดต่ำลงแปรผกผันกับความเร็วของเรือเมื่อความเร็ว F_n เพิ่มสูงขึ้นมากกว่า F_n เท่ากับ 0.544 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณด้วย CFD กับผลการทดลองลากเรือจำลองพบว่า อยู่ระหว่าง 4 – 44% (ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 25%) โดยค่าที่ได้จาก CFD ส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่าผลการทดลองลากเรือจำลอง

4.4 สรุปผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่น ด้วยวิธีการคำนวณพลศาสตร์ของไหลแบบไม่มีความหนืด เรือท้องเดียว เรือท้องคู่และเรือสามท้อง โดยผลลัพธ์ที่ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองลากเรือจำลอง ดังตารางที่ 4.8 จากผลการเปรียบเทียบพบว่า ค่าที่ได้จากผลวิเคราะห์ให้ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นกับเลขฟรูด ไปในทิศทางเดียวกับค่าที่ได้จากการทดลอง

Model 2 และ 3 การปรับ Boundary condition โดยให้การไหลไม่มีความหนืด ให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ลดลง

Model 3 และ 4 การเพิ่มจำนวนกริดทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยลดลง

Model 1, 3 และ 4 เมื่อปริมาตรควบคุมมีค่าน้อยลงทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยลดลง

Model 5 และ 6 พบว่าค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นใน Model 6 เนื่องมาจากมีการทดสอบในช่วงความเร็ววิกฤติ (F_n ในช่วง 0.429 – 0.544) รวมอยู่ด้วย

ตารางที่ 4.8 สรุปผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน

Model	Hull	Flow	F_n	Grid (cell)	A (m ²)	$\bar{\epsilon}$
1	MONO	Inviscid	0.500 - 0.700	1,065,344	0.482	11%
2	CAT	Viscous	0.500 - 0.700	897,846	0.964	136%
3	CAT	Inviscid	0.500 - 0.700	897,846	0.964	6%
4	CAT	Inviscid	0.500 - 0.700	1,235,379	0.964	1%
5	TRI	Inviscid	0.330 - 0.392	1,164,412	0.723	17%
6	TRI	Inviscid	0.200 - 0.829	1,547,712	3.004	25%

ในเรือสามห้อง Model 6 ค่าที่ได้มีความแตกต่างกันสูงสุดอยู่ 44% ในช่วงความเร็ววิกฤต และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 25% และค่าที่ได้จากการทดลองจะมีค่าสูงกว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จาก CFD กับการทดลองลากเรือจำลองมีสาเหตุมาจาก

1. จำนวนเมชในปริมาตรควบคุมไม่เพียงพอ
2. ความละเอียดในการสร้างโมเดลเรือ Wigley ไม่เพียงพอ
3. เกิดจากความผิดพลาดในการเซทการจำลอง CFD

อย่างไรก็ตาม ค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากวิธีการคำนวณพลศาสตร์ของไหลแบบไม่มีความหนืดมีค่าความแม่นยำมากขึ้น จึงถือว่าเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ ที่จะนำมาใช้ในการศึกษาพฤติกรรม และการออกแบบตัวเรือไทรมารานในขั้นตอนการออกแบบเบื้องต้น (Preliminary design) ในส่วนของแรงต้านทานคลื่น ที่จะกล่าวอย่างละเอียดในบทต่อไป

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการนำการกำหนดเงื่อนไขการจำลอง CFD และการจำลองตัวเรือที่ได้ผ่านการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนในการจำลองกับค่าที่ได้จากการทดลองลากเรือจำลอง และได้รับการยืนยันผลลัพธ์จากบทที่ผ่านมา นำมาใช้ในการศึกษาพฤติกรรมของแรงต้านทานคลื่น ผลของระยะห่างระหว่างตัวเรือไตรมาราน และการออกแบบตัวเรือไตรมารานในขั้นตอนการออกแบบเบื้องต้นในส่วนของแรงต้านทานคลื่น

5.1 การจำลองตัวเรือ Wigley

ในการจำลองตัวเรือ Wigley เพื่อใช้ในการทดลองการศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนและพฤติกรรมของแรงต้านทานคลื่น ทั้งเรือท้องเดียว เรือท้องคู่ และเรือสามท้อง เพื่อใช้ในการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล ชั้นแรกในการวิจัยในครั้งนี้ ได้ทำการสร้างรูปทรงทางคณิตศาสตร์ของตัวเรือ Wigley [21] ได้จากสมการซึ่งได้ถูกอธิบายไว้ดังนี้

$$y = \frac{B}{2} (1 - \xi^2) (1 - \zeta^2) \quad (5.1)$$

เมื่อ
$$\xi = \frac{x}{L/2} \in [-1, 1] \quad (5.2)$$

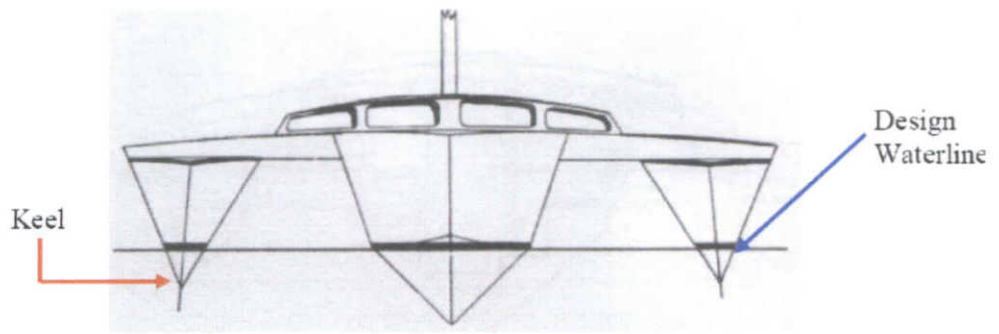
และ
$$\zeta = \frac{z}{T} \in [-1, 0] \quad (5.3)$$

โดยที่

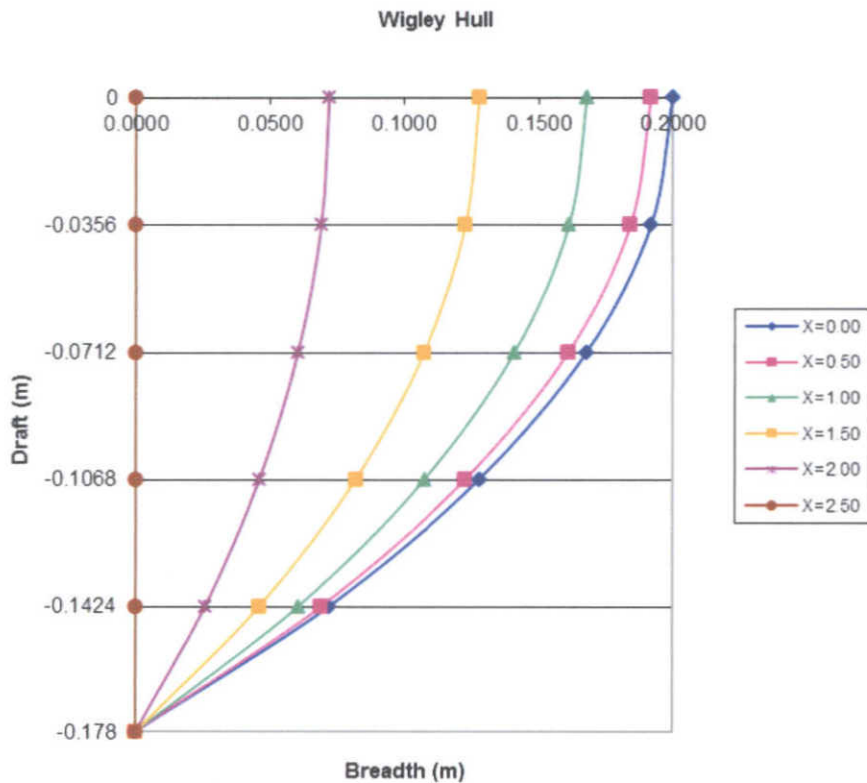
- y = ความกว้างจาก เส้นกึ่งกลางลำเรือ (ตามแกน $\pm y$)
- B = ความกว้างของเรือที่ระดับกินน้ำลึกออกแบบ (m)
- x = ความยาวจากกลางลำเรือ (ตามแกน $\pm x$)
- L = ความยาวของตัวเรือที่ระดับกินน้ำลึกออกแบบ (m)
- z = ความลึกจากแนวน้ำ (ตามแกน $-z$)
- T = ระยะกินน้ำลึกของเรือ (m)

ในการจำลองตัวเรือ Wigley เราได้ใช้ข้อมูลตัวเรือ ที่ได้ผ่านการทดลองลากเรือจำลองดังข้อมูลในตารางที่ 4.5 ซึ่งเป็นค่าคุณลักษณะของตัวเรือที่ใช้ในการแทนค่าในสมการ (5.1) – (5.3) เพื่อสร้างพิกัดสายเส้นตัวเรือ Wigley เพื่อใช้ในการสร้างโมเดลตัวเรือใน CAD Software

จากข้อมูลในตารางที่ 4.5 เราสามารถสรุปค่าขนาดตัวเรือที่จะนำมาจำลองได้คือ ตัวเรือหลัก (Main Hull) มีความยาว 1.8 เมตร ความกว้าง 0.18 เมตร และระยะกินน้ำลึก 0.1125 เมตร นำมาแทนค่าในสมการที่ (5.2) และ (5.3) แล้วจึงนำไปแทนค่าใน สมการที่ (5.1) ตามลำดับ ตัวเรือด้านข้าง (Outtrigger) นำขนาดตัวเรือมาคำนวณหาพิกัดเช่นเดียวกับตัวเรือหลัก ซึ่งสามารถแสดงผลได้ตามภาคผนวก ก. การจำลองตัวเรือไตรมาราน ในการคำนวณนี้ เราใช้ตัวเรือที่อยู่ใต้เส้นแนวน้ำออกแบบมาคำนวณ โดยใช้ลายเส้นของเรือในแต่ละแนวน้ำ (Waterline, WL) และลายเส้นตัดขวางในแต่ละหน้าตัด (Station) ดังรูปที่ 5.1 มาขึ้นรูป [22]

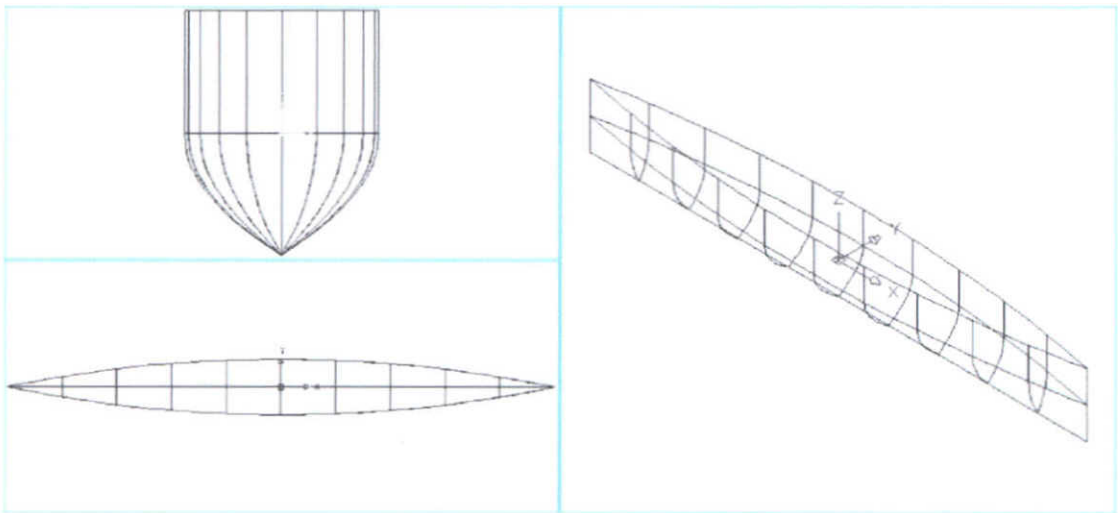


รูปที่ 5.1 แสดงแนวน้ำออกแบบและกระดูกงูของเรือไตรมาราน [23]

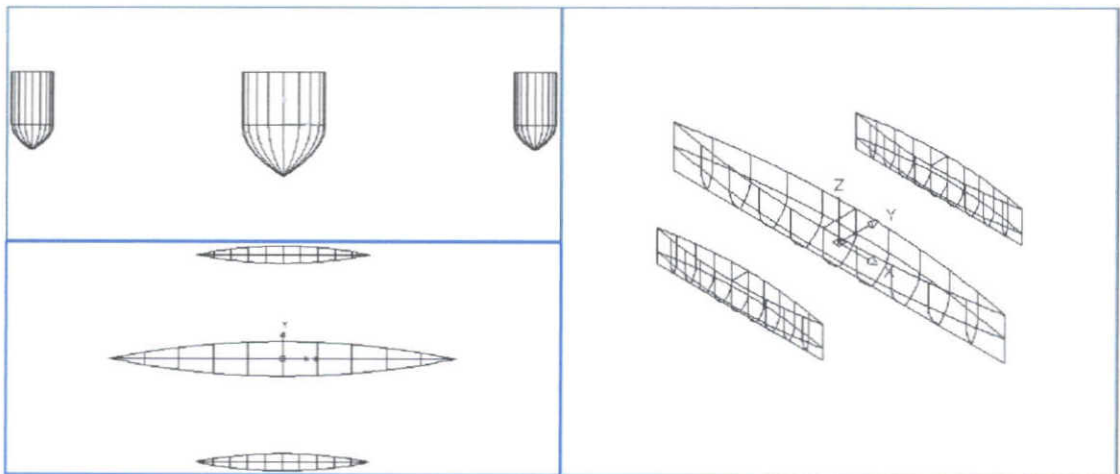


รูปที่ 5.2 แสดงลายเส้นตามขวาง (Body plan) ของตัวเรือหลักใต้แนวน้ำที่ครึ่งความกว้าง [18]

เรือไตรมารานจำลองถูกสร้างจาก แนวน้ำออกแบบถึงกระดูก ค่าพิกัดแต่ละ Station ดังรูปที่ 5.2 นำมาสร้างตัวเรือหลักของเรือไตรมาราน ทำการจำลอง 3 มิติ โดยใช้ CAD Software ซึ่งพิกัดในแต่ละ Station มีหน่วยเป็นเมตร ทำการแปลงให้อยู่ในรูปพิกัด (x, y, z) เพื่อนำมาสร้างเรือไตรมารานจำลองแบบเต็มมาตรฐาน ดังรูปที่ 5.3 และตั้งแต่เหนือแนวน้ำทำการสร้างตัวเรือตามหน้าตัดแนวน้ำให้ตัวเรือมีความลึก 0.225 เมตร โดยตัวเรือที่ได้จะมีความสมมาตรตามความยาวและความกว้าง ดังรูปที่ 5.3 ทำการสร้างตัวเรือด้านข้างด้วยวิธีการเดียวกัน โดยให้ความลึกเหนือแนวน้ำของตัวเรือด้านข้างมีค่าเท่ากับตัวเรือหลัก ทำการกำหนดระยะห่างระหว่างตัวเรือหลักและตัวเรือด้านข้างตามแนวแกน x และ y จะได้ตัวเรือไตรมารานดังรูปที่ 5.4



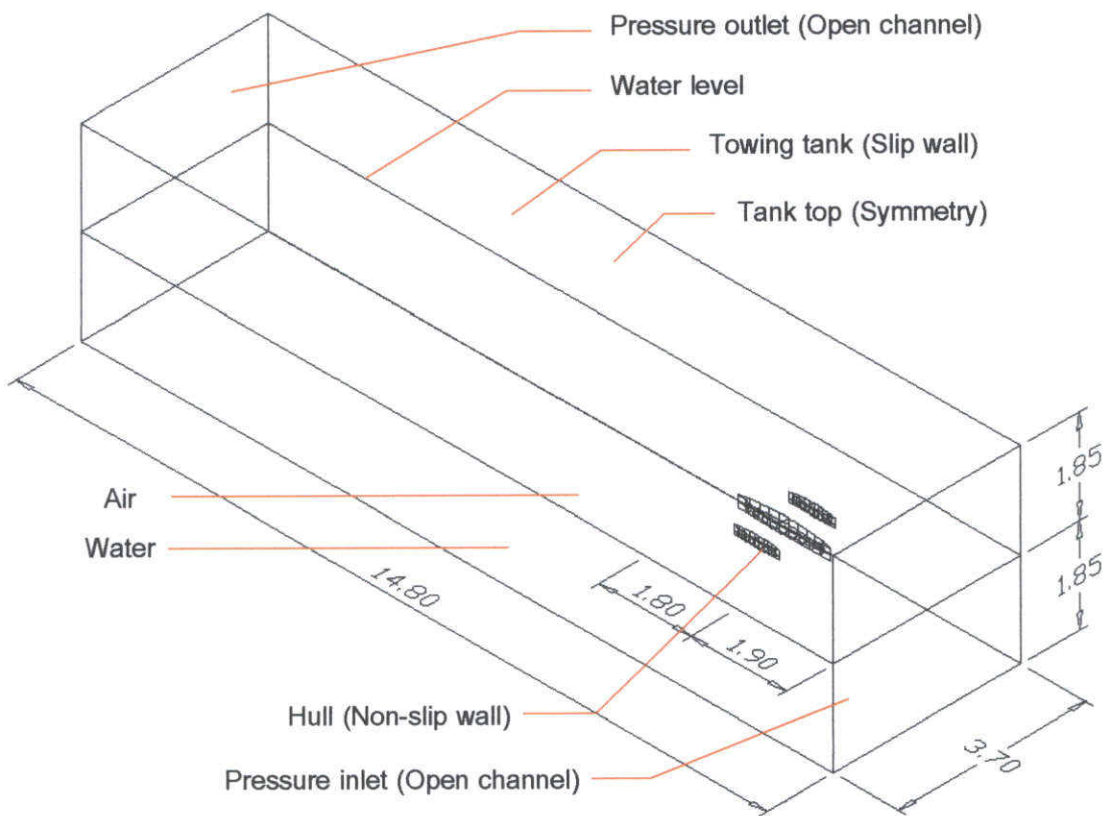
รูปที่ 5.3 แสดงโมเดลตัวเรือหลักจาก CAD software [24]



รูปที่ 5.4 แสดงโมเดลตัวเรือไตรมารานจาก CAD software

5.2 การกำหนดเงื่อนไขการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล

ในการทดลองศึกษาแรงต้านทานคลื่นในเรือไทรมาราน การจำลองสมภาวะการไหลของของไหล เพื่อให้มีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลให้ได้ค่าแรงต้านทานคลื่นที่ใกล้เคียงผลการทดลองลากเรือจำลองมากที่สุดนั้น ได้ทำการยืนยันผลลัพธ์ที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองและมีค่าความคลาดเคลื่อนที่อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำมาใช้ในการศึกษาพฤติกรรมและการออกแบบตัวเรือไทรมารานในขั้นตอนการออกแบบเบื้องต้น (Preliminary design) ในส่วนของแรงต้านทานคลื่น ที่ได้อธิบายในบทที่ผ่านมา



รูปที่ 5.5 แสดงการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตและขนาดของแบบจำลองถังลากเรือใน CFD

โดยในงานวิจัยนี้ได้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ดีขึ้น เมื่อเทียบกับบทความต้นแบบดังรูปที่ 2.3 [5] เนื่องจากการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary condition) ที่เหมาะสมและเสมือนจริงกับการจำลองเพื่อหาแรงต้านทานคลื่น โดยแนวคิดในการจำลองไม่ได้เปรียบเทียบการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตเป็นตัวแปร เนื่องมาจากการศึกษาในรูปแบบตัวแปรมีความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงต่อแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีความหลากหลายและซับซ้อนและระยะเวลาที่จำกัด ซึ่งไม่เหมาะสมต่อรูปแบบและขอบเขตของงานวิจัยนี้ เพื่อลดปัญหาดังที่กล่าวมานี้ จึงได้สรุปเป็นรูปแบบแนวความคิดการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตและการคำนวณ ดังรูปที่ 5.5 ได้เป็นหัวข้อดังนี้

1. ผนังถัง (Towing tank wall) – Slip wall

กำหนดให้เป็น Slip wall เพื่อตัดผลกระทบจากการเกิด Fully develop ของการไหลที่ผนังถัง ในความเป็นจริง น้ำและผนังจะอยู่นิ่งในขณะที่เรือเคลื่อนที่ น้ำที่ผนังจะไม่มีกรไหล เปรียบได้กับกำหนด Slip wall ที่ผนังที่ไม่มีอิทธิพลของความหนืด (ในทางทฤษฎี จะกำหนดเป็น Slip wall หรือ Non-Slip wall ผลลัพธ์ที่ได้ไม่น่าจะแตกต่างกัน เนื่องจากของไหลไม่มีความหนืด) ซึ่งแตกต่างกับ Moving wall [5] ที่ไม่เสมือนจริงและมีอิทธิพลจากความหนืด

2. ตัวเรือ (Hull) – Non-Slip wall

กำหนดให้เป็น Non-Slip wall ซึ่งในความเป็นจริง เรือเคลื่อนที่ น้ำจะอยู่นิ่ง ทำให้เกิด Fully develop ของการไหลที่ผิวสัมผัสตัวเรือ เปรียบได้กับ Non-Slip wall ที่มีอิทธิพลความหนืด (ในทางทฤษฎีจะกำหนดเป็น Slip wall หรือ Non-Slip wall ผลลัพธ์ที่ได้ไม่น่าจะแตกต่างกัน เนื่องจากของไหลไม่มีความหนืด) ซึ่งเปรียบได้กับ Stationary wall [5] ที่เป็นผนังอยู่นิ่งกับการไหลที่มีความหนืด

3. ผนังถังด้านบน (Tank top) – Symmetry

กำหนดให้เป็น Symmetry เพื่อให้การไหลของอากาศ ไหลขนานสวนทางกับตัวเรือ ซึ่งถ้ากำหนดเป็น Pressure outlet [5] อากาศจะไหลหมุนวนออก ซึ่งไม่เสมือนกับเรือกำลังเคลื่อนที่ผ่านของไหลที่อยู่นิ่ง

4. ทางเข้าและทางออกของไหล (Pressure inlet/outlet) – Open channel

กำหนดให้เป็น Open channel จะทำให้สามารถแบ่งชั้นระหว่างน้ำและอากาศได้ และกำหนดความลึกของน้ำได้และให้ค่าเสมือนสภาวะจริงที่ความลึกต่างๆ ซึ่งน้ำจะมีแรงดันสถิต (Static pressure) และยังสามารถกำหนดความเร็วของของไหลที่ทางเข้าได้ ในทางตรงกันข้าม Velocity inlet [5] จะไม่มีเทอมของแรงดันสถิตของของไหล

5. การกำหนดรูปแบบการจำลองเป็นการคำนวณแบบ 3D

การกำหนดรูปแบบการจำลองเป็นการคำนวณ 3D แตกต่างกับ 3DP (Double precision) [5] เนื่องจากต้องการให้ระยะเวลาการคำนวณที่เร็วยิ่งขึ้น เพื่อให้เหมาะสมกับเวลาและขอบเขตที่มีในการวิจัย ซึ่งการคำนวณที่หนึ่งความเร็วใช้เวลาประมาณ 12 - 24 ชม. ในการประมวลผล

6. การกำหนด Time step – $L/20V$

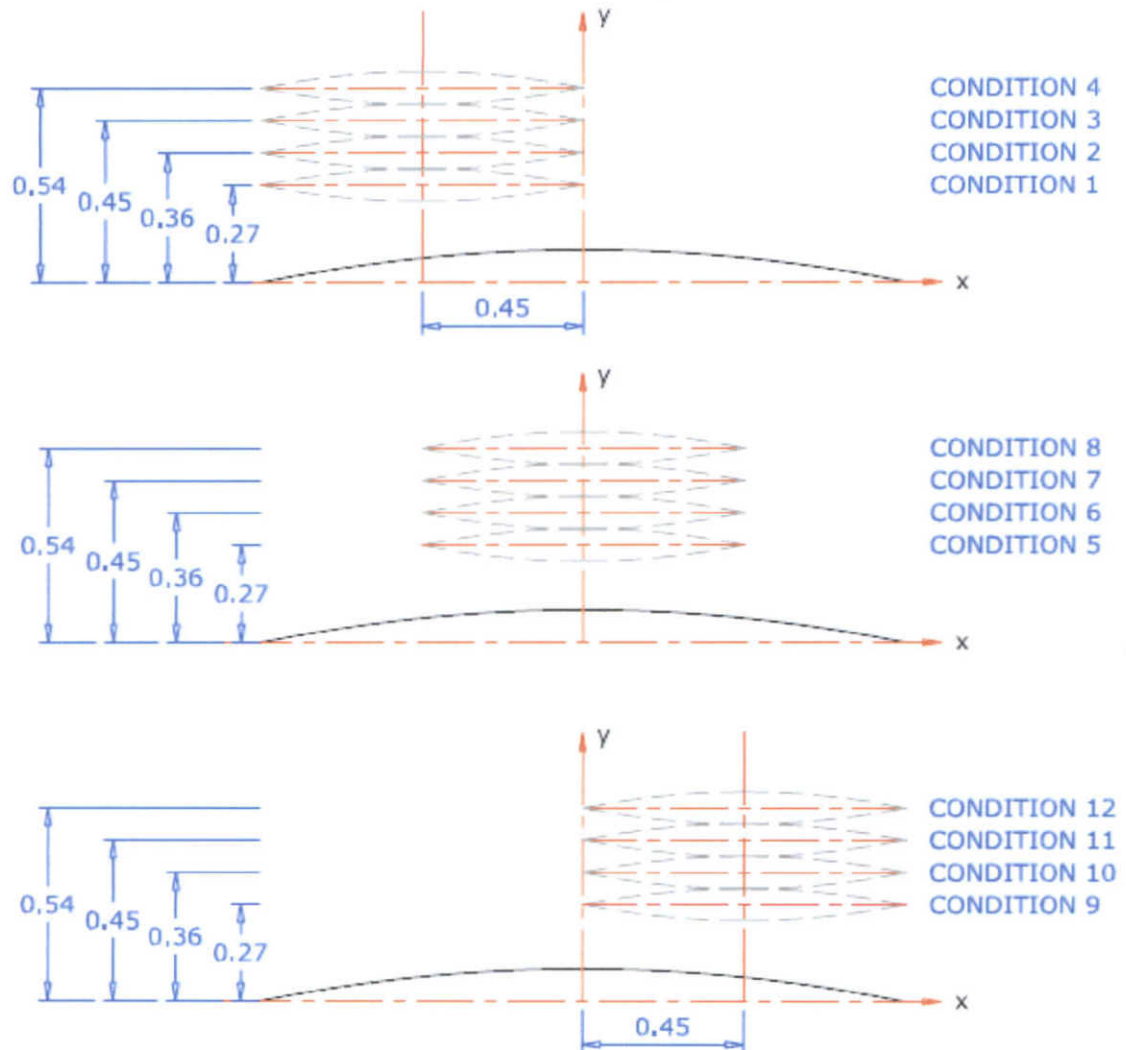
การกำหนด Time step เป็นการแบ่งช่วงการคำนวณเปรียบเทียบกับระยะการไหลโดยในบทความนี้แบ่งออกเป็น 20 ช่วงต่อระยะการไหลความยาวตัวเรือ ซึ่งการกำหนดให้ Time step น้อยมาก ทำให้ผลการคำนวณที่ละเอียดมากขึ้น ถ้ากำหนดให้ Time step มากเกินไปจะส่งผลให้ผลการคำนวณ Divergence ในการทดลองนี้กำหนดให้ค่า Time step จะเปลี่ยนไปตามความเร็วเรือ ทำให้ความละเอียดในการคำนวณทุกๆ ความเร็วเท่ากัน โดยที่เรือความเร็วต่ำๆ จะมีค่า Time step สูง ใช้เวลาประมวลผลน้อย และที่เรือความเร็วสูงๆ จะมีค่า Time step ต่ำ ใช้เวลาประมวลผลมาก ใน

บทความต้นแบบ [5] กำหนดให้ค่า Time step เท่ากับ $3L/V$ ซึ่งให้ความละเอียดน้อยกว่ามาก แต่มีปัจจัยในเรื่องของขอบเขตความสามารถของคอมพิวเตอร์และระยะเวลาในการทำการทดลองที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลต่อการกำหนดความละเอียดในการประมวลผล

จากความแตกต่างของการกำหนดขอบเขตเงื่อนไขทั้งหมดสามารถนำไปพัฒนาแยกศึกษาเป็นตัวแปรต่างๆ ได้มากมาย ซึ่งในการศึกษาวิจัยนี้กำหนดขอบเขตไว้ในชั้นเบื้องต้นเท่านั้น

5.3 ผลการทดลอง

ในการทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของตัวเรือไตรมาราน ระยะห่างระหว่างตัวเรือหลักและตัวเรือด้านข้างตามแนวแกน x และ y (ดังรูปที่ 4.34) กับผลกระทบต่อแรงต้านทานคลื่น ได้กำหนดขอบเขตการศึกษาออกเป็น 12 Condition ตามรูปที่ 5.6 และ ตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.6 แสดงตำแหน่งตัวเรือด้านข้างแต่ละ Condition ของเรือไตรมารานครึ่งลำ

ตารางที่ 5.1 แสดงระยะห่างระหว่างตัวเรือไตรมารานในแต่ละ Condition

	$lx/L = -0.25$	$lx/L = 0.00$	$lx/L = 0.25$
$ly/L = 0.15$	Condition 1	Condition 5	Condition 9
$ly/L = 0.20$	Condition 2	Condition 6	Condition 10
$ly/L = 0.25$	Condition 3	Condition 7	Condition 11
$ly/L = 0.30$	Condition 4	Condition 8	Condition 12

ทำการสร้างแบบจำลองตามตารางที่ 5.1 โดยนำเอา Model 5 จากการทดลองในบ่อที่ผ่านมา ทำการจำลอง CFD ในแต่ละ Condition ทำการทดสอบในช่วงความเร็วฟรูดนัมเบอร์ 0.2 - 0.8 ทำการบันทึกค่า Pressure force ทำการคำนวณและบันทึกค่าที่ได้ตามตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นของเรือไตรมารานที่ $lx/L = -0.25$

No.	F_n	R_w (N)	C_w	R_w (N)	C_w	R_w (N)	C_w	R_w (N)	C_w
Condition	1		2		3		4		
1	0.2	0.39888	0.00157	0.41196	0.00162	0.43159	0.00169	0.45178	0.00177
2	0.3	1.72384	0.00301	1.69235	0.00295	1.63629	0.00285	1.59501	0.00278
3	0.4	2.69003	0.00264	2.55859	0.00251	2.71830	0.00267	2.95227	0.00290
4	0.5	4.89413	0.00307	5.35244	0.00336	5.77453	0.00363	6.03074	0.00379
5	0.6	6.95923	0.00303	7.61660	0.00332	7.99847	0.00349	8.13454	0.00355
6	0.7	8.65074	0.00277	9.32222	0.00299	9.49428	0.00304	9.48107	0.00304
7	0.8	10.11969	0.00248	10.56367	0.00259	10.46759	0.00257	10.35632	0.00254

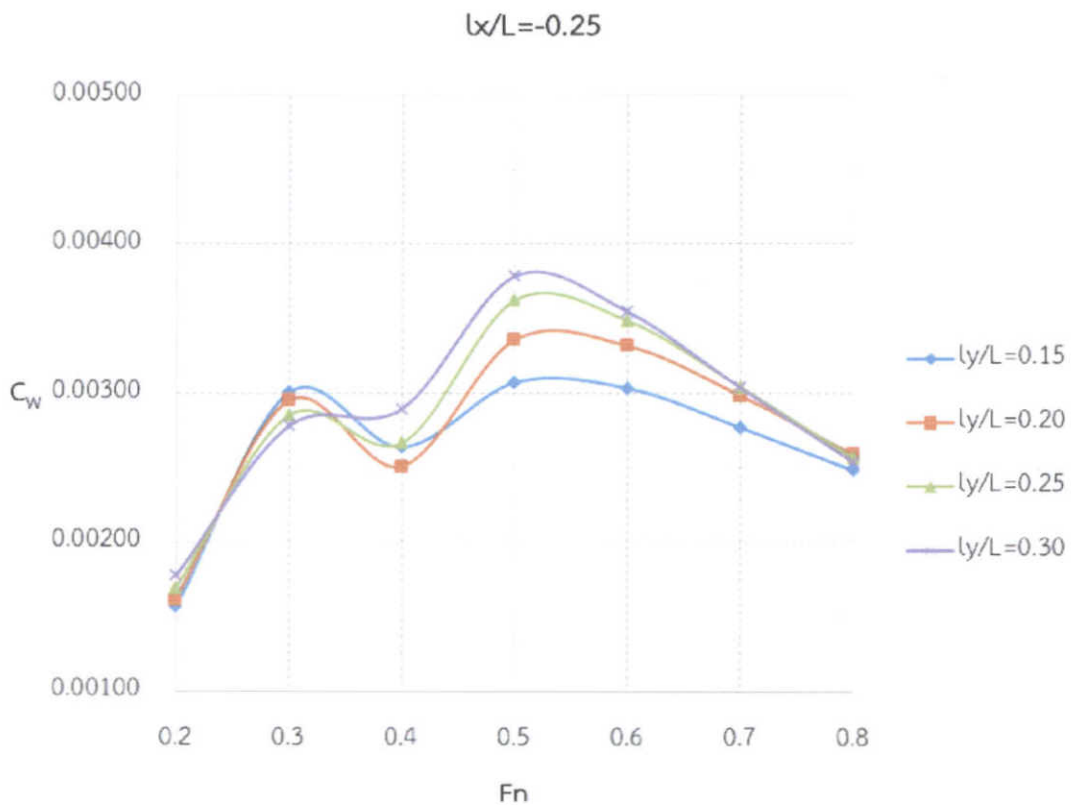
ตารางที่ 5.3 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นของเรือไตรมารานที่ $lx/L = 0.00$

No.	F_n	R_w (N)	C_w	R_w (N)	C_w	R_w (N)	C_w	R_w (N)	C_w
Condition	5		6		7		8		
1	0.2	0.38074	0.00149	0.41155	0.00162	0.41274	0.00162	0.43937	0.00172
2	0.3	1.05973	0.00185	1.20359	0.00210	1.26446	0.00221	1.37580	0.00240
3	0.4	3.72019	0.00365	4.13030	0.00405	4.18032	0.00410	4.08760	0.00401
4	0.5	7.88425	0.00495	7.38492	0.00464	6.81706	0.00428	6.58222	0.00413
5	0.6	9.38950	0.00409	8.40301	0.00366	8.10177	0.00353	8.02145	0.00350
6	0.7	9.82783	0.00315	9.09970	0.00292	9.05338	0.00290	9.10589	0.00292
7	0.8	10.34892	0.00254	9.91038	0.00243	9.81484	0.00241	9.93030	0.00244

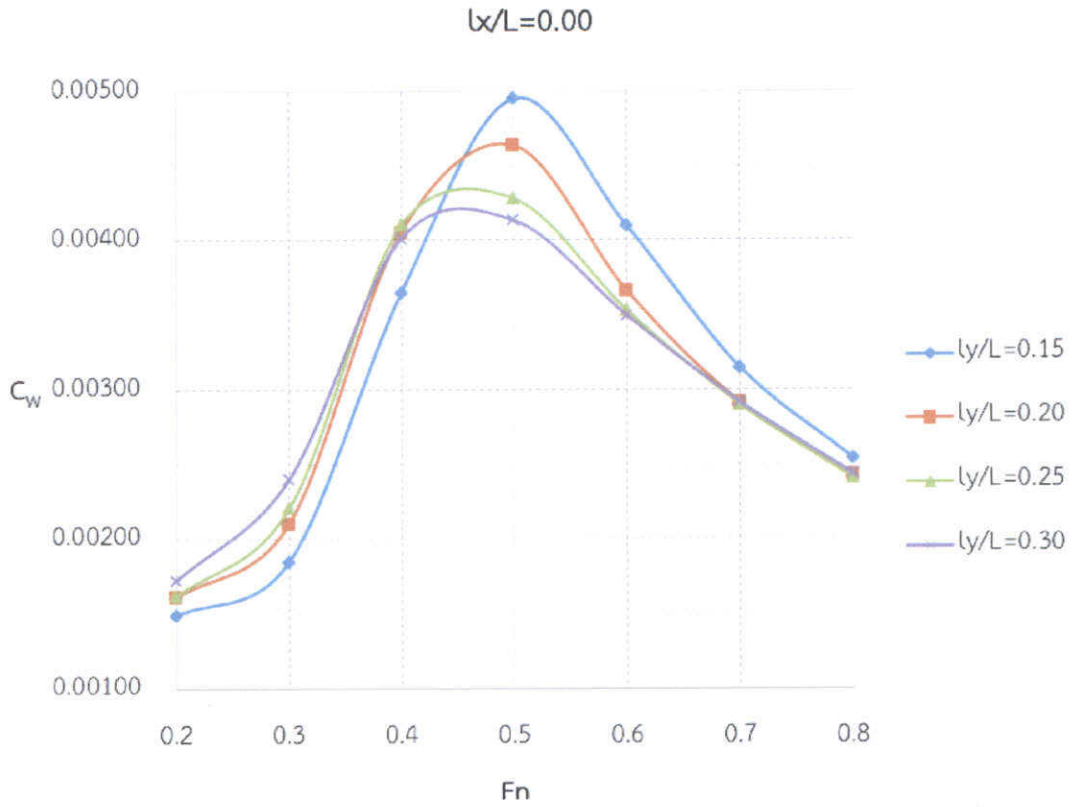
ตารางที่ 5.4 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นของเรือไทรมารานที่ $lx/L = 0.25$

No.	F_n	R_w (N)	C_w	R_w (N)	C_w	R_w (N)	C_w	R_w (N)	C_w
Condition		9		10		11		12	
1	0.2	0.43753	0.00172	0.41822	0.00164	0.42670	0.00167	0.44364	0.00174
2	0.3	1.77196	0.00309	1.66100	0.00290	1.59891	0.00279	1.57841	0.00275
3	0.4	3.09330	0.00303	2.80295	0.00275	2.89431	0.00284	3.09816	0.00304
4	0.5	6.10929	0.00384	6.18550	0.00388	6.33371	0.00398	6.40692	0.00402
5	0.6	8.36555	0.00365	8.23626	0.00359	8.21381	0.00358	8.18454	0.00357
6	0.7	9.45968	0.00303	9.32620	0.00299	9.27502	0.00297	9.26910	0.00297
7	0.8	10.04510	0.00246	9.93374	0.00244	9.92847	0.00244	9.97715	0.00245

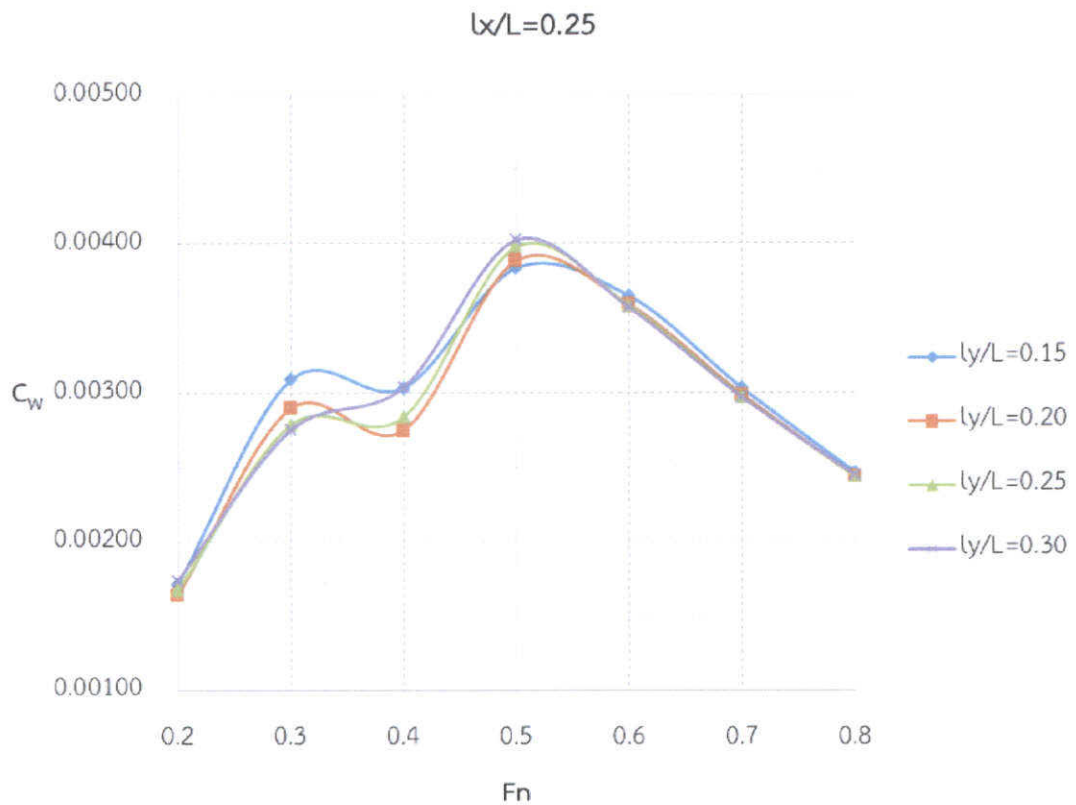
พล็อตกราฟเปรียบเทียบ C_w ที่แต่ละระยะห่าง ly/L ดังรูปที่ 5.7 – 5.9 เพื่อพิจารณาผลกระทบของระยะห่างระหว่างตัวเรือตามขวาง และรูปที่ 5.10 – 5.13 พล็อตกราฟเปรียบเทียบ C_w ที่แต่ละระยะห่าง lx/L เพื่อพิจารณาผลกระทบของระยะห่างระหว่างตัวเรือตามยาว



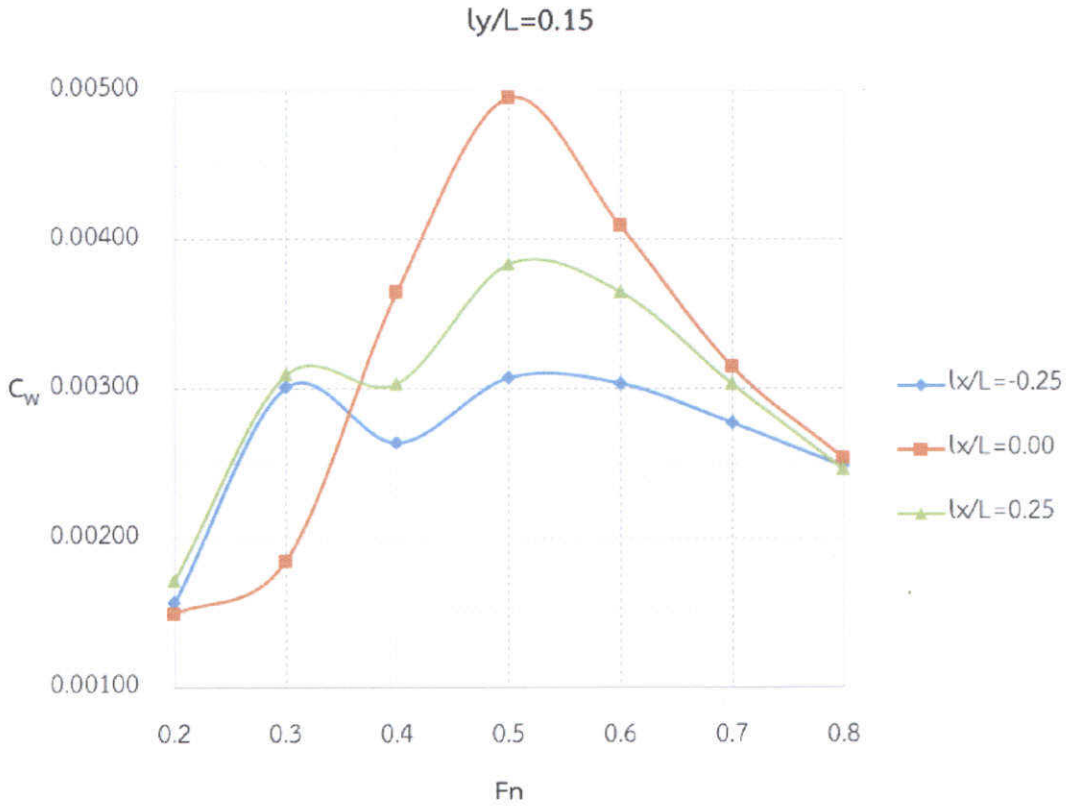
รูปที่ 5.7 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นที่ $lx/L = -0.25$



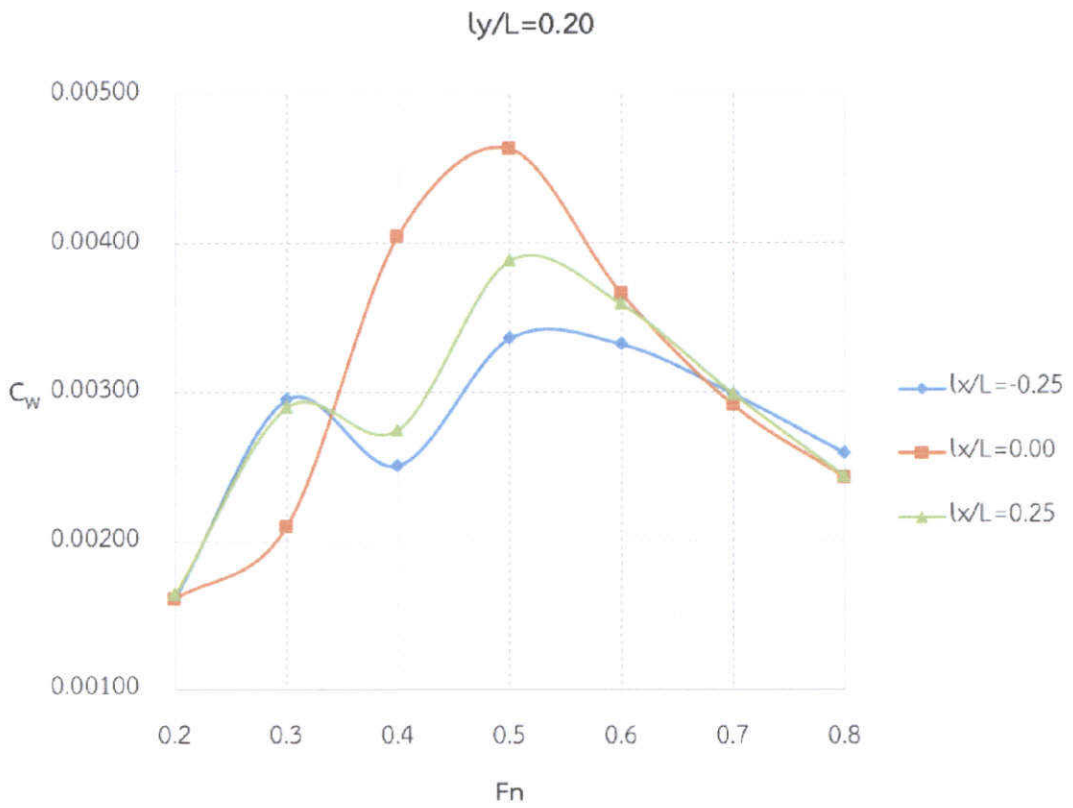
รูปที่ 5.8 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นที่ $lx/L = 0.00$



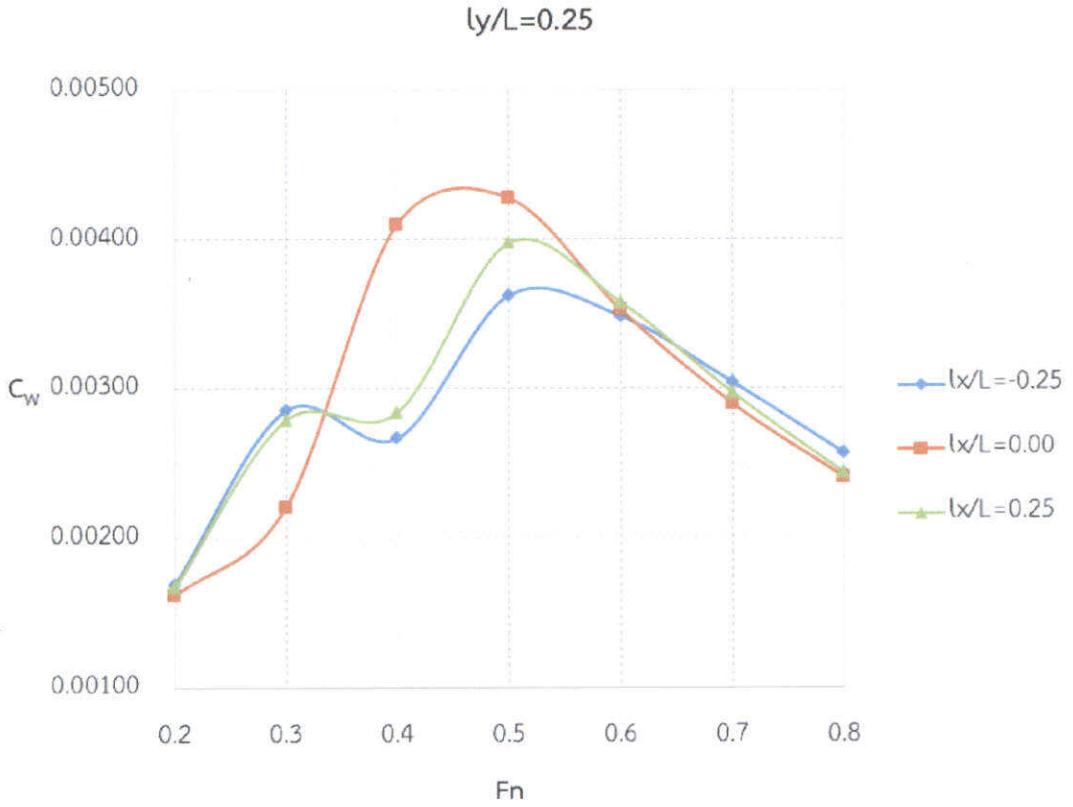
รูปที่ 5.9 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นที่ $lx/L = 0.25$



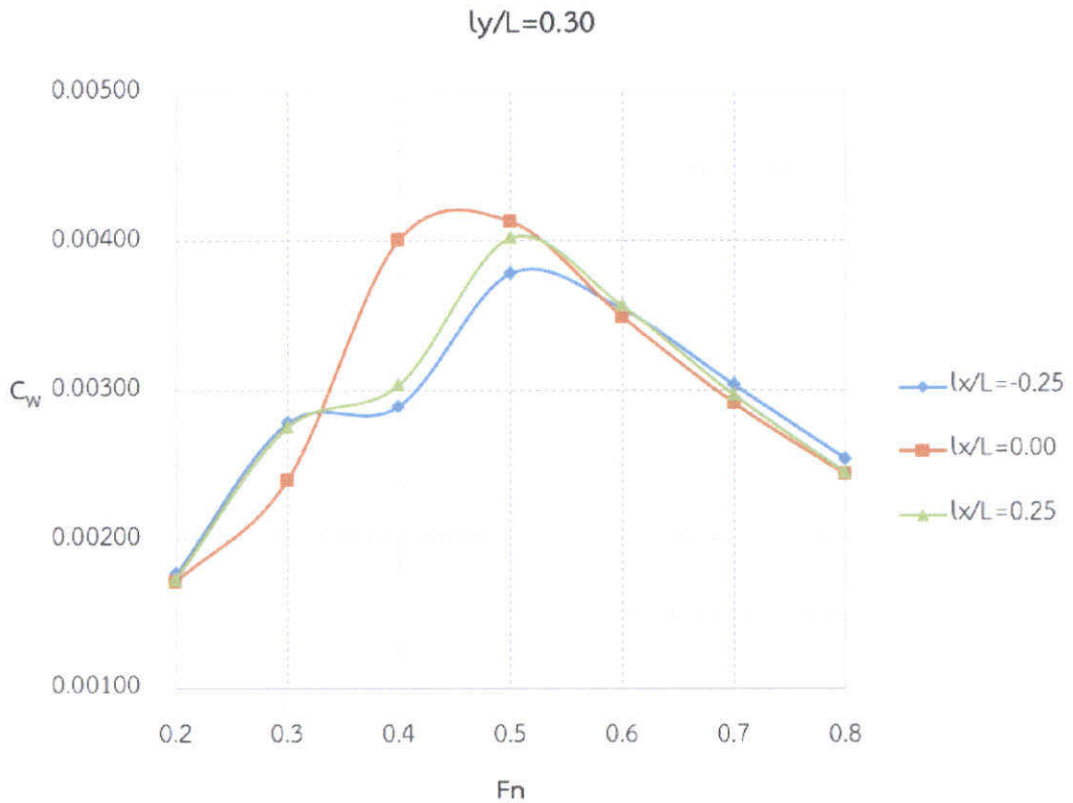
รูปที่ 5.10 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นที่ $ly/L = 0.15$



รูปที่ 5.11 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นที่ $ly/L = 0.20$



รูปที่ 5.12 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นที่ $ly/L = 0.25$



รูปที่ 5.13 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นที่ $ly/L = 0.30$

5.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

รูปที่ 5.7 – 5.9 พบว่าตำแหน่งตัวเรือดด้านข้างที่ lx/L เท่ากับ -0.25 และ 0.25 มีพฤติกรรมของแรงต้านทานคลื่นมีลักษณะคล้ายคลึงกันโดยค่า C_w มีเพิ่มขึ้นและลดต่ำลงที่ช่วงความเร็ว F_n ต่ำกว่าช่วงความเร็ววิกฤติ (F_n เท่ากับ 0.5)

รูปที่ 5.7 แสดงให้เห็นว่าที่ความเร็ววิกฤติ ระยะห่างระหว่างตัวเรือดตามขวาง (ly) มีค่าแปรผันกับ C_w และมีค่าสูงสุดที่ ly/L เท่ากับ 0.30

รูปที่ 5.8 พบว่าที่ lx/L เท่ากับ 0 ในช่วงความเร็ววิกฤติ แรงต้านทานคลื่นกับระยะห่างระหว่างตัวเรือดตามขวางมีผลตรงกันข้ามกับ lx/L เท่ากับ -0.25 โดยค่า C_w มีค่าแปรผกผันกับระยะห่างระหว่างตัวเรือดตามขวาง

รูปที่ 5.9 พบว่า ระยะ lx/L เท่ากับ 0.25 การปรับระยะห่างระหว่างตัวเรือดตามขวางมีผลกระทบน้อยมากต่อค่า C_w และที่ความเร็ววิกฤติพบว่า ระยะห่างระหว่างตัวเรือดตามขวางมีค่าแปรผันกับ C_w เช่นเดียวกับ lx/L เท่ากับ -0.25

รูปที่ 5.10 – 5.13 ลักษณะพฤติกรรมของ C_w ในแต่ละระยะห่างระหว่างตัวเรือดตามขวางมีลักษณะสอดคล้องกัน และเมื่อพิจารณาระยะห่างระหว่างตัวเรือดตามยาวพบว่าที่ความเร็ววิกฤติ lx/L เท่ากับ 0.00 มีค่า C_w สูงสุดและ lx/L เท่ากับ -0.25 มีค่าต่ำสุด และในช่วง F_n เท่ากับ $0.7 - 0.8$ พบว่า ที่ระยะ lx/L เท่ากับ -0.25 มีค่า C_w สูงสุด เมื่อระยะห่างระหว่างตัวเรือดตามขวาง ly/L อยู่ในช่วง $0.20 - 0.30$

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผล

จะเห็นได้ว่าผลการจำลอง CFD ให้ผลการคำนวณเป็นไปในทิศทางเดียวกันและสอดคล้องกันในแต่ละช่วงระยะห่างระหว่างตัวเรือ เมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้มาวิเคราะห์แรงต้านทานคลื่นได้ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 สรุปค่า C_w ที่ต่ำที่สุดในช่วงความเร็วต่างๆ

No.	Speed	Fn	Axis	
			x	y
1	Low	0.2 – 0.3	$lx/L = 0.00$	$ly/L = 0.15$ $lx/L = 0.00$
2	Critical	0.4 – 0.5	$lx/L = -0.25$	$ly/L = 0.15$ $lx/L = -0.25$
3	High	0.7 – 0.8	$lx/L = 0.00$ $ly/L = 0.20 - 0.30$	$ly/L = 0.15$ $lx/L = -0.25$

จากผลสรุปที่ได้ ทำให้ทราบถึงพฤติกรรมของแรงต้านทานคลื่นที่เกิดจากตัวเรือไตรมารานดังนี้

1. ค่า C_w มีพฤติกรรมเปลี่ยนไปในช่วง lx/L เท่ากับ 0.00 โดยที่ lx/L เท่ากับ -0.25 และ 0.25 มีลักษณะใกล้เคียงกัน
2. ค่าความเร็ววิกฤติที่ควรหลีกเลี่ยงในการใช้งานอยู่ในช่วง Fn เท่ากับ 0.4 – 0.5
3. ระยะห่างระหว่างตัวเรือในแนวแกน x มีผลต่อ R_w อย่างมากในช่วง Fn เท่ากับ 0.2 – 0.5
4. ผลการวิจัยที่ได้สามารถนำ CFD ประยุกต์ใช้ในการออกแบบเรือไตรมารานเบื้องต้นในส่วนของการวิเคราะห์แรงต้านทานคลื่น เพื่อลดค่าใช้จ่ายและเวลาได้

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 การศึกษาการใช้ CFD ในการคำนวณหาแรงต้านทานคลื่นควรทดสอบ การจำลองการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow model) ในของไหลที่มีความหนืด โดยการกำหนดผิวของตัวเรือเป็น Slip wall หรือการปรับค่าความหยาบพื้นผิวเป็นศูนย์เพื่อเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อน

6.2.2 การทดลองควรทดสอบตัวเรือไตรมารานที่มีรูปทรงที่ใช้งานจริงและมีข้อมูลรูปทรงตัวเรือ และผลการทดลองลากเรือจำลองเพื่อพิจารณาความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจริง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Insel, M., and Molland, A. F. "An Investigation into the Resistance Components of High Speed Displacement Catamaran." **Proceeding of meeting of the Royal Institution of Naval Architects, London, 1991.**
- [2] Fluent Inc. "FLUENT," [Online]. Available : <http://www.fluent.com>. 2007
- [3] Gray, Alexander W. "Preliminary Study on the Use of Computational Fluid Dynamics to Determine the Friction Resistance of a Trimaran Ship." Thesis of Major of Mechanical and Aerospace Engineering, West Virginia University, WV, 2007
- [4] Thornhill, E., Bose, N., Veitch, B. and Liu, P., "Planing Hull Performance Evaluation Using a General Purpose CFD Code." **Proceedings of 24th Symposium on Naval Hydrodynamics., 2003**
- [5] กิตติภูมิ ภูมิโคกรักษ์, สัตยา จันทระประภา, จุฑารัตน์ คุรุเจริญ และอโณทัย สุขแสงพนมรุ่ง "การวิเคราะห์ความต้านทานและรูปแบบคลื่นของเรือแบบตัวเรือคู่ ด้วยวิธีคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล" การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24 จังหวัดอุบลราชธานี, ตุลาคม 2553
- [6] Maki, K. J., Doctors, L. J., Rhee, S. H., Wilson, W.M., Beck, R. F., and Troesch, A. W., "Resistance Predictions for a High-Speed Sealift Trimaran." **Proc. Ninth International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics, Ann Arbor, Michigan, Aug 2007.**
- [7] Ronald K. Kiss, **Ship Design and Construction.** The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York, 1980
- [8] Van Manen, J. D., and Van Oossanen, P., Chapter V Resistance, **Principles of Naval Architecture, Volume II.** Lewis, E. V., editor. 1st printing. The Society of Naval Architects and Marine Engineers, USA, 1988
- [9] Reynolds, O., **Philosophical Transactions of the Royal Society,** London, 1883
- [10] Larsson, L. and Baba, E., "Ship Resistance and Flow Computations." **Advances in Marine Hydrodynamics,** M. Ohkusu (ed.), Comp. Mech. Publ., 1996
- [11] Bertram, V., **Practical Ship Hydrodynamics.** 1st printing, Printed in Great Britain, Butterworth-Heinemann, 2000

- [12] Hughes, G., "Friction and Form Resistance in Turbulent Flow, and a Proposed Formulation for Use in Model and Ship Correlation" Transactions of RINA, Vol. 96, 1954
- [13] Hughes, G., "An Analysis of Ship Model Resistance into Viscous and Wave Components" Transaction of RINA, Vol. 108, 1966
- [14] Lindgren, H., and Dyne, G., "Ship Performance Prediction" Publications of the Swedish Maritime Research Centre (SSPA), No. 85, 1980
- [15] Prohaska, C. W., "A Simple Method for the Evaluation of the Form Factor and Low Speed Wave Resistance," **Preceedings, 11th ITTC**, 1966
- [16] Michell, J. H., "The Wave Resistance of a Ship" Philosophical Magazine and Journal of Science, Vol. 5-45, 1898
- [17] Ansys Fluent 12.0 Theory Guide. "ANSYS FLUENT 12.0 Documentation, Theory Guide," Chapter 16 Multiphase Flows. Release 12.0 © ANSYS, Inc. 2009-01-23.
- [18] อมรเดช กานตันฤนิมิต และ มนต์ศักดิ์ พิมสาร. "การศึกษาหาค่าแรงต้านทานคลื่นของเรือไตรมารานโดยการคำนวณพลศาสตร์ของไหล" **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25 จังหวัดกระบี่, ตุลาคม 2554**
- [19] Battistin, D., "Analytical, Numerical and Experimental Investigation on the Wave Interference Phenomenon of Trimaran Configurations", NAV, Venice, 2000
- [20] Wang Zhong, and Lu Xiao-ping, "Numerical Simulation of Wave Resistance of Trimaran by Nonlinear Wave Making Theory with Sinking and Trim Being taken into Account" **Science Direct Journal of Hydrodynamics**, Vol.23, April 2011, pp. 224-233
- [21] Peng, H., "Numerical Computation of Multi-hull Ship Resistance and Motion" Thesis of Major Subject: Naval Architect at Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, 2001
- [22] Gray, Alexander W., "Preliminary Study of Trimarans," Research Experience for Undergraduates: Marine Science and Engineering China 2006, **Report No. 06-13, Department of Civil and Environmental Engineering**, Clarkson University Potsdam, NY, 2006
- [23] Clarke, D. H., **Trimarans: An Introduction**, Fletcher and Son Ltd., Norwich, Great Britain. 1975

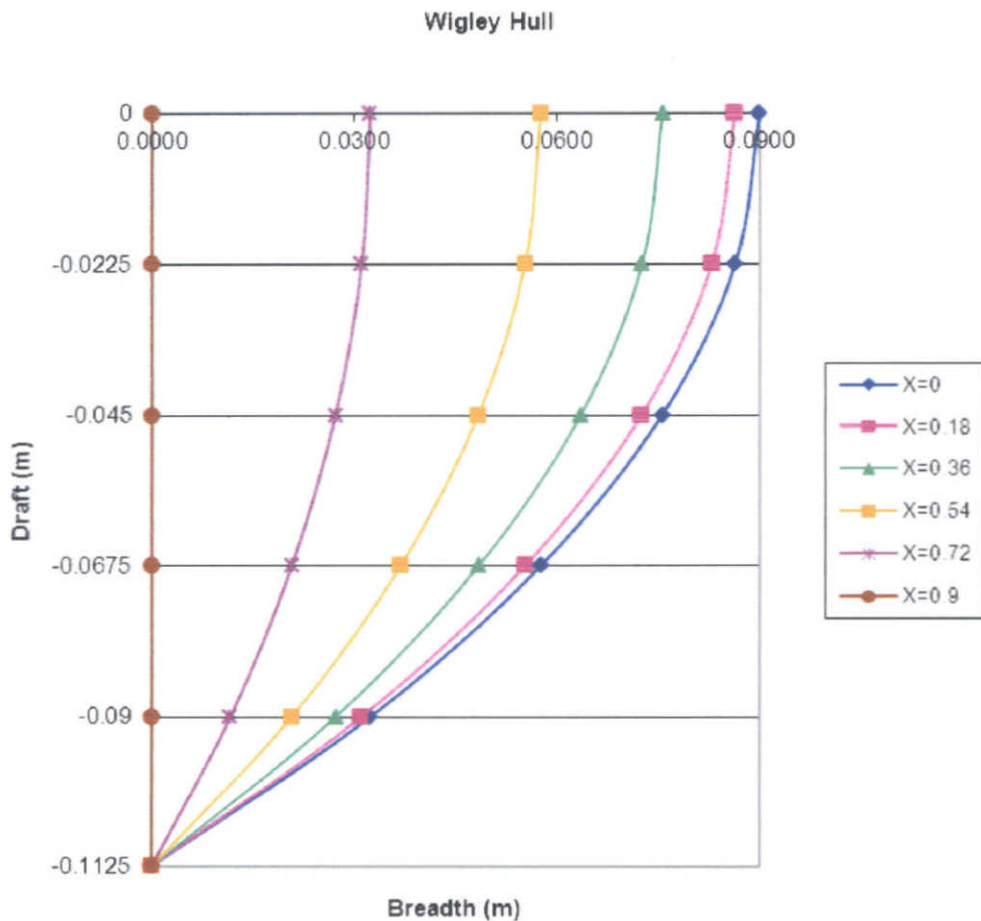
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ขั้นตอนและรายละเอียดการสร้างโมเดล

ขั้นตอนและรายละเอียดการสร้างโมเดล

- นำข้อมูลขนาดของตัวเรือตามตารางรายละเอียดของเรือห้องเดียว (ตาราง 4.1) มาแทนค่าในสมการ (5.2) และ (5.3) โดยขนาดความยาวตัวเรือ 1.8 เมตร (L) ความกว้างตัวเรือได้จากอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของตัวเรือหรือความเพรียวตามยาว (L/B) มีค่าเท่ากับ 10 จะได้ความกว้างตัวเรือ 0.18 เมตร (B) และระยะกินน้ำลึกได้จากอัตราส่วนของความกว้างต่อระยะกินน้ำลึกหรือความเพรียวตามขวาง (B/T) มีค่าเท่ากับ 1.60 จะได้ระยะกินน้ำลึกตัวเรือ 0.1125 เมตร (T)
- ก่อนการคำนวณพิกัดลายเส้นตัวเรือในสมการ (5.2) และ (5.3) ทำการแบ่งระยะตามแนวแกน x และ z จากขนาดความยาวและระยะกินน้ำลึกของตัวเรือ โดยในการสร้างโมเดลนี้กำหนดให้ตามแกน x มีระยะห่างระหว่างหน้าตัด (Transverse section) เป็น 0.18 เมตร และตามแกน z มีระยะห่างระหว่างแนวน้ำ (Waterline) เป็น 0.0225 เมตร โดยจุดตัดระหว่างแกน จะได้พิกัด (x, z)



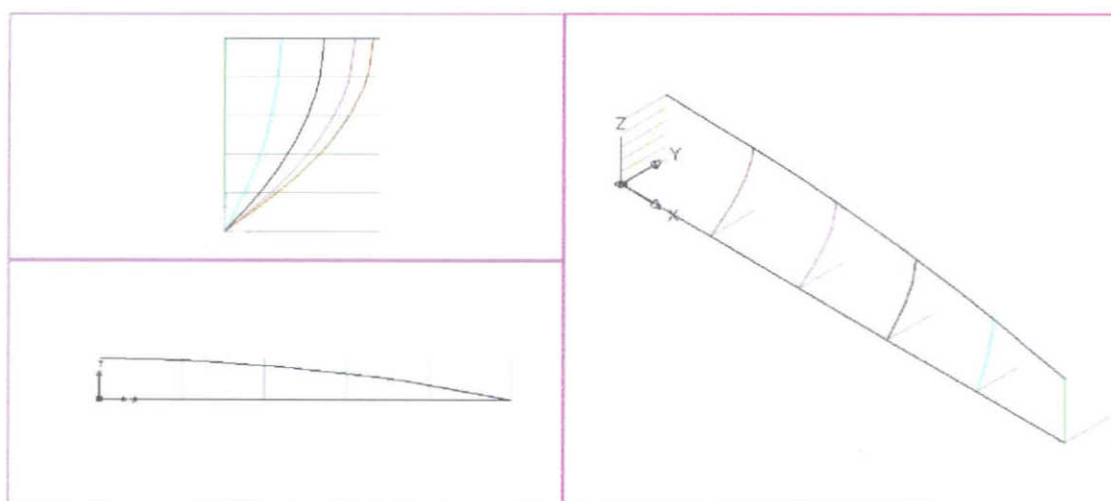
รูปที่ ก-1 แสดงลายเส้นตามขวาง (Body plan) ใต้แนวน้ำที่ครึ่งความกว้าง

ตารางที่ ก-1 พิกัดจากสมการทางคณิตศาสตร์ของตัวเรือ Wigley

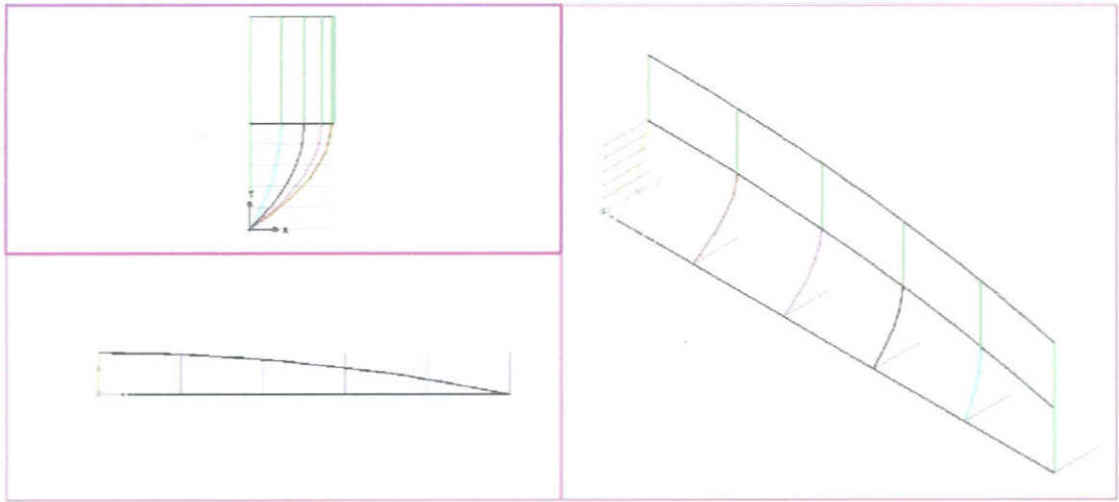
ζ	0.0000	-0.2000	-0.4000	-0.6000	-0.8000	-1.0000	
$x \setminus z$	0.0000	-0.0225	-0.0450	-0.0675	-0.0900	-0.1125	ξ
0.0000	0.0900	0.0864	0.0756	0.0576	0.0324	0.0000	0.0000
0.1800	0.0864	0.0829	0.0726	0.0553	0.0311	0.0000	0.2000
0.3600	0.0756	0.0726	0.0635	0.0484	0.0272	0.0000	0.4000
0.5400	0.0576	0.0553	0.0484	0.0369	0.0207	0.0000	0.6000
0.7200	0.0324	0.0311	0.0272	0.0207	0.0117	0.0000	0.8000
0.9000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000

นำค่าที่ได้จากสมการ (5.2) และ (5.3) ตามพิกัด (x, z) แทนค่าในสมการที่ (5.1) ได้พิกัด y ในช่วงสี่ขาวตามตารางที่ ก-1 ทำการพล็อตลายเส้นตัวเรือตามขวางจะได้ลายเส้นตัวเรือครึ่งลำทั้งตามยาวและตามขวางดังรูปที่ ก-1

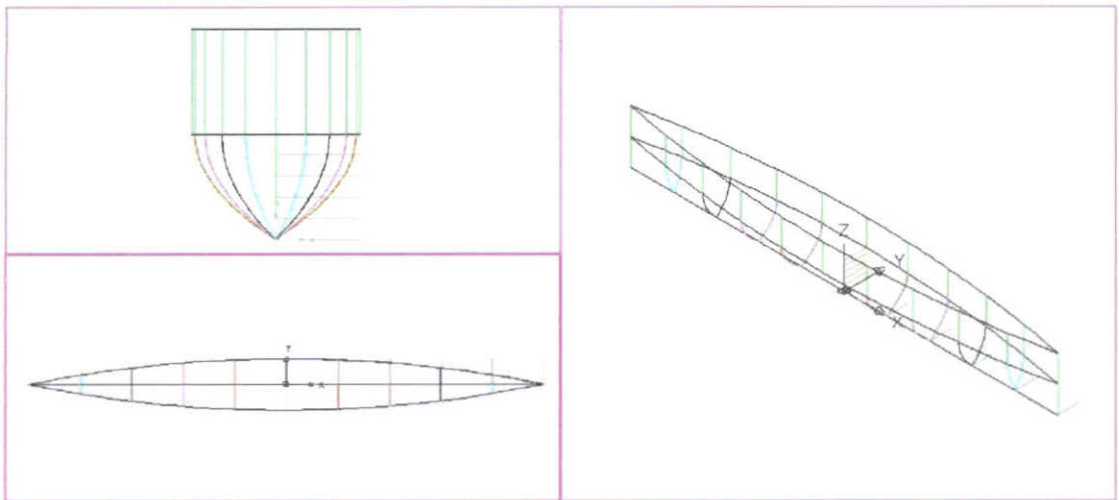
3. ทำการสร้างลายเส้นตัวเรือตามขวาง (Body plan) ขึ้นรูป 3 มิติ ใน CAD Software ดังรูปที่ ก-2 ทำการสร้างกราบเรือให้ตัวเรือมีความลึกเท่ากับ 0.225 เมตร (D) ดังรูปที่ ก-3 เนื่องจากตัวเรือมีความสมมาตรทั้งตามยาวและตามขวาง ทำการสร้างตัวเรือส่วนที่เหลือด้วยลายเส้นตัวเรือเดียวกันจะได้ตัวเรือดังรูปที่ ก-4 ทำการสร้างถังจำลองลากเรือขนาดความยาว 14.80 เมตร ความกว้าง 3.70 เมตร ความสูง 3.70 เมตร โดยกำหนดให้พิกัด $(0, 0, 0)$ ของตัวเรืออยู่กึ่งกลางของถังจำลองตามแนวแกน y และ z โดยให้หัวเรืออยู่ห่างจากผนังทางเข้าของของไหล 1.90 เมตร ดังรูปที่ ก-5 นำโมเดลที่ได้ไปแบ่งกริดในโปรแกรม ANSYS ดังรูปที่ ก-6



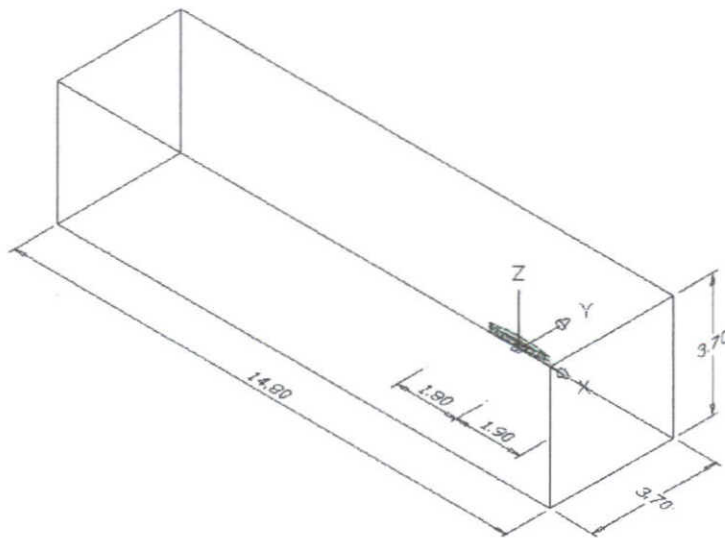
รูปที่ ก-2 แสดงการสร้างโมเดลด้วยลายเส้นตัวเรือตามขวาง



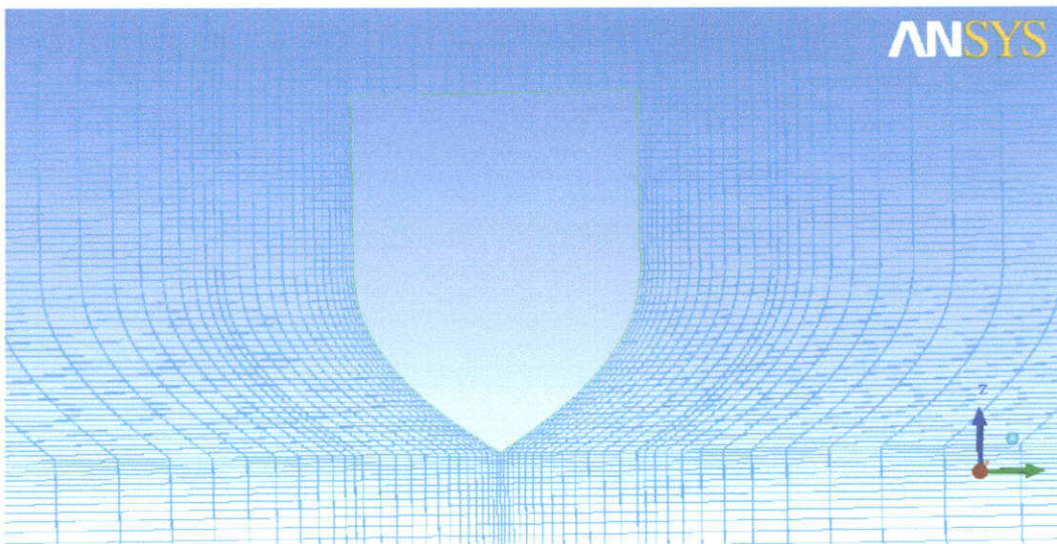
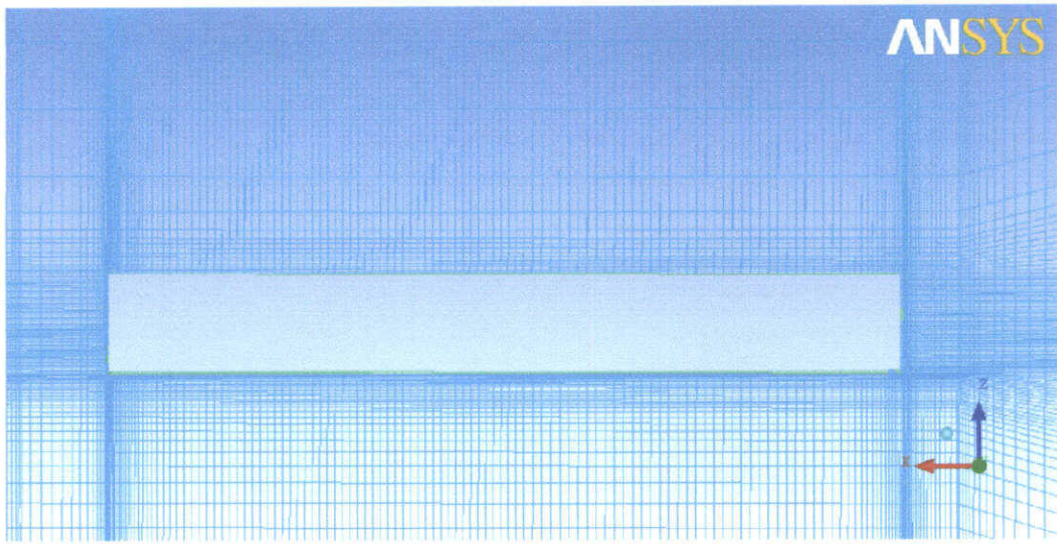
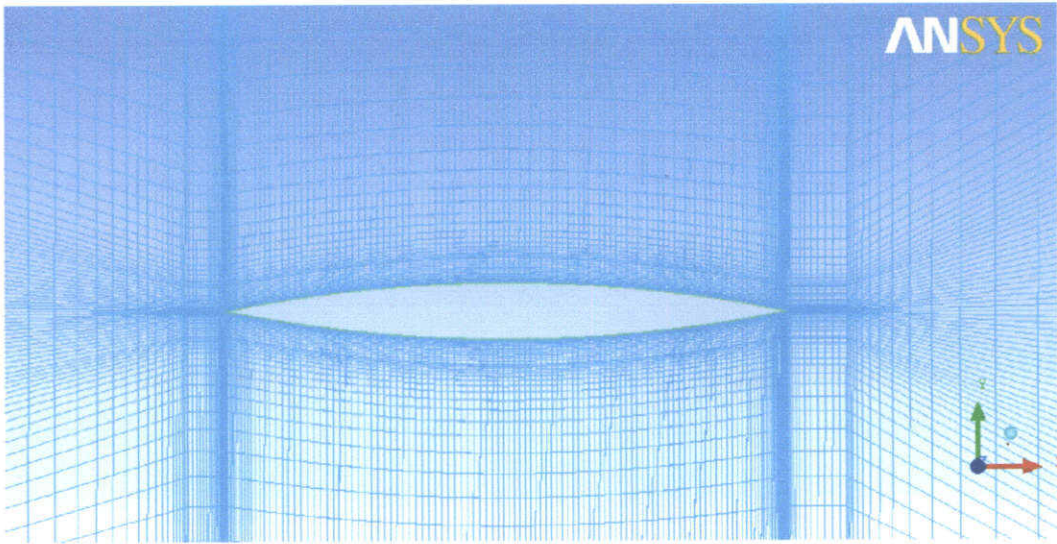
รูปที่ ก-3 แสดงการสร้างกราบเรือให้ตัวเรือมีความลึกเท่ากับ 0.225 เมตร



รูปที่ ก-4 แสดงการสร้างตัวเรือด้วยความสมมาตรทั้งตามยาวและตามขวาง



รูปที่ ก-5 แสดงการสร้างถังจำลองลากเรือและระยะห่างหัวเรือและทางเข้าของไหล



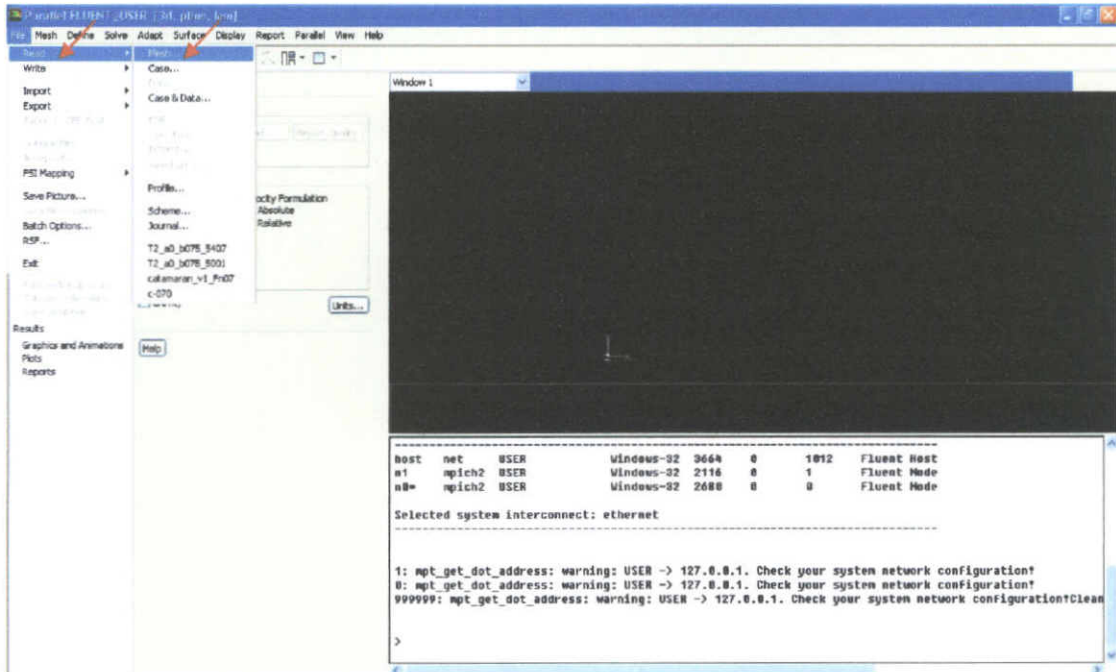
รูปที่ ก-6 แสดงการแบ่งกริดในโปรแกรม ANSYS

ภาคผนวก ข.
ขั้นตอนและรายละเอียดการใช้ FLUENT

ขั้นตอนและรายละเอียดการใช้ FLUENT

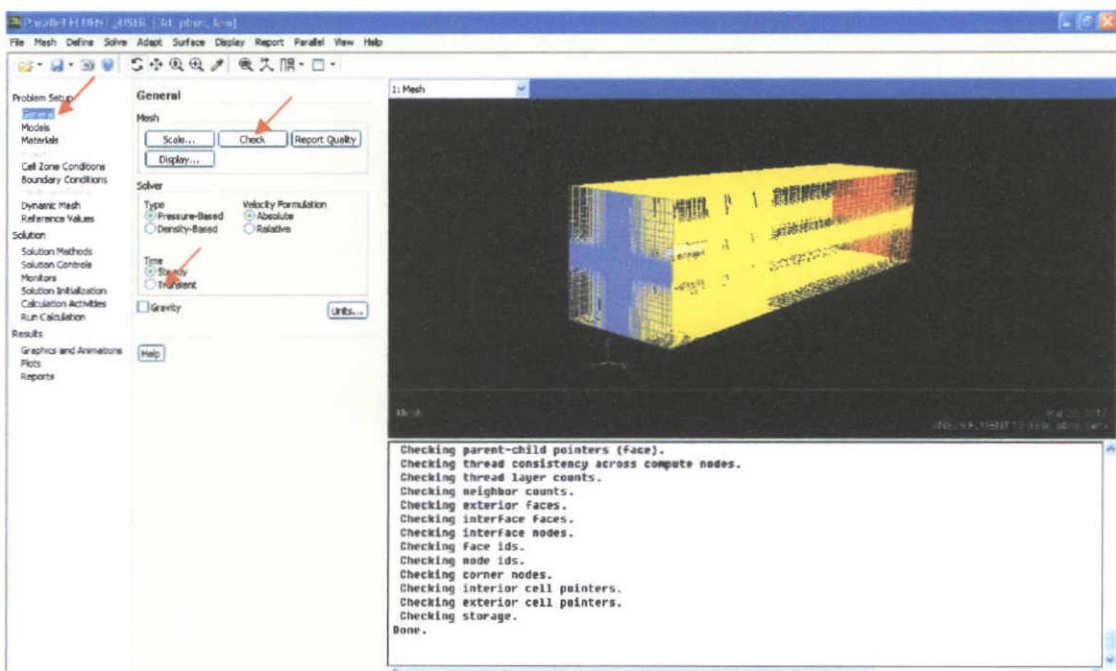
1. เปิดไฟล์ที่ได้จากโปรแกรม ANSYS โดยเป็นชนิดไฟล์เมช (msh) ในโปรแกรม FLUENT

File>Read>Mesh



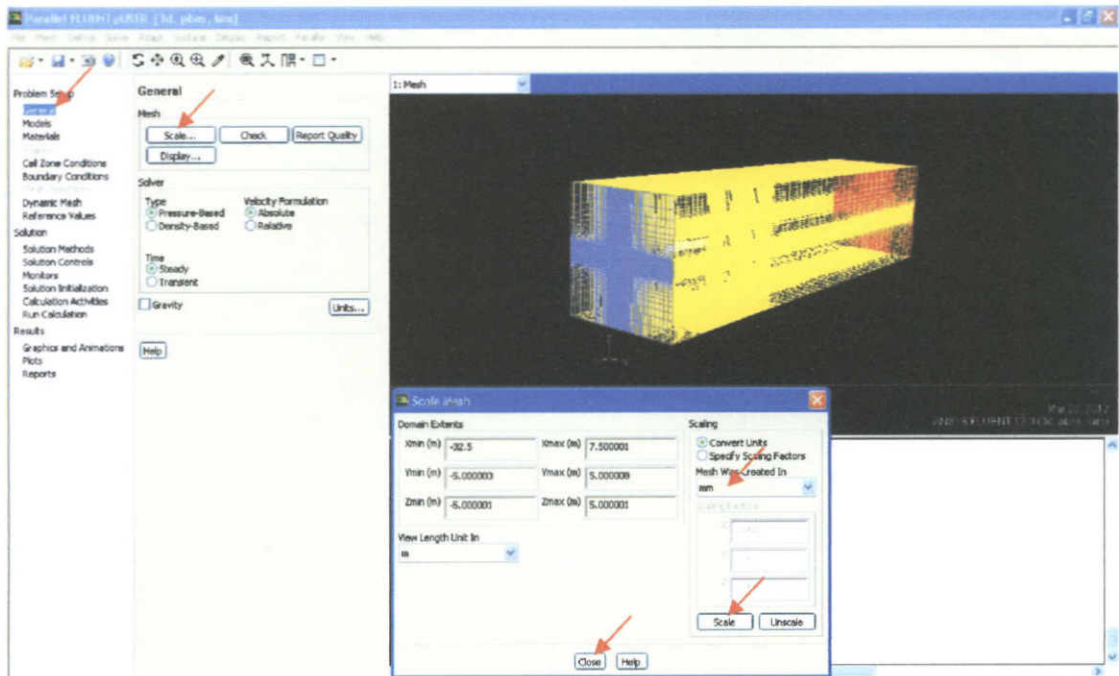
2. ตรวจสอบความสมบูรณ์ของแบบจำลอง

General>Check / Time: Transient



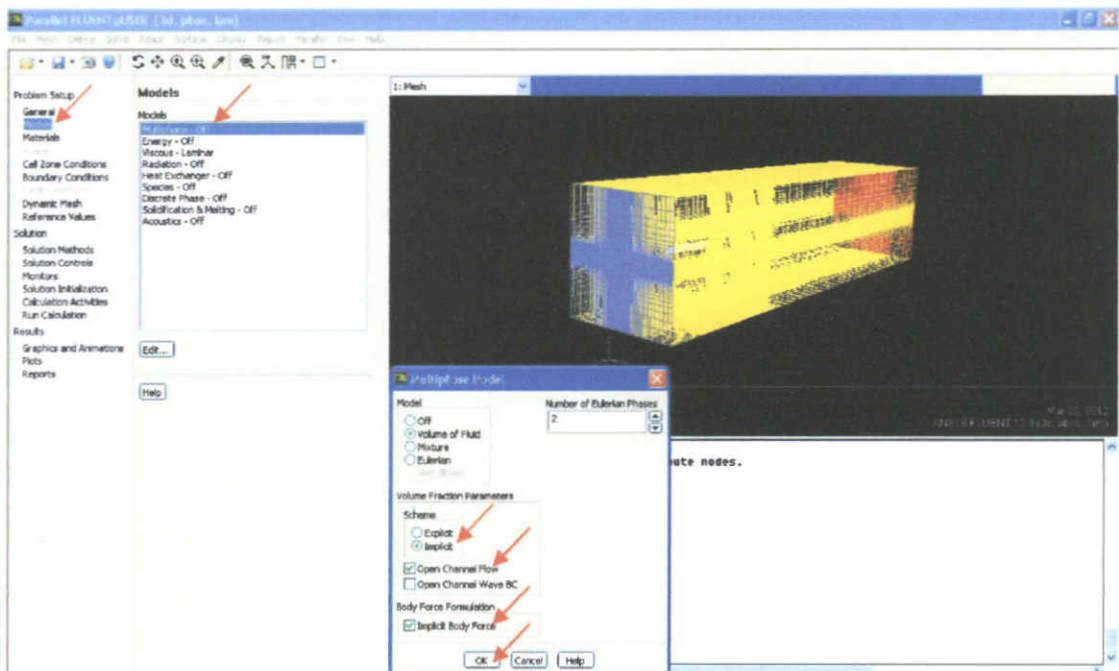
3. ทำการย่อส่วนแบบจำลอง

General>Scale>Scaling>Mesh Was Created In “mm”>Scale>Close



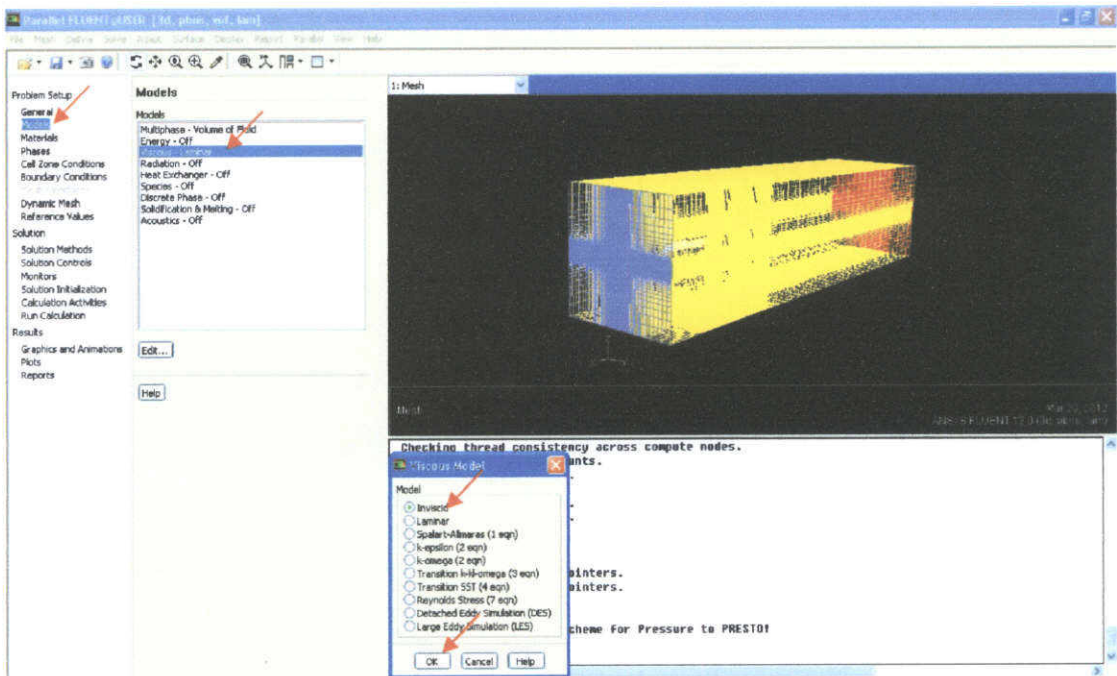
4. กำหนดคุณลักษณะแบบจำลอง

Model>Multiphase – off>Volume Fraction Parameters: Implicit Scheme /
Open Channel Flow>Body Force Formulation: Implicit Body Force>OK



5. กำหนดแบบจำลองการไหลแบบไม่มีความหนืด

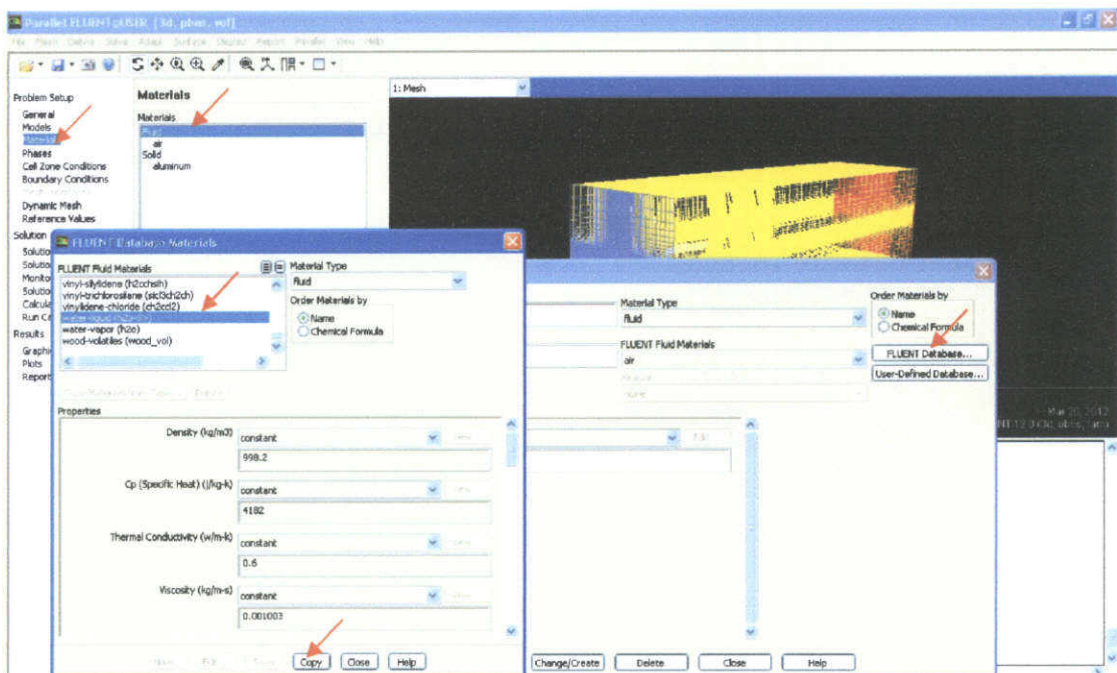
Model>Viscous – Laminar>Viscous Model: Inviscid Model>OK



6. กำหนดคุณสมบัติของไหล

Materials>Fluid>Create/Edit Material: FLUENT Database>FLUENT Fluid

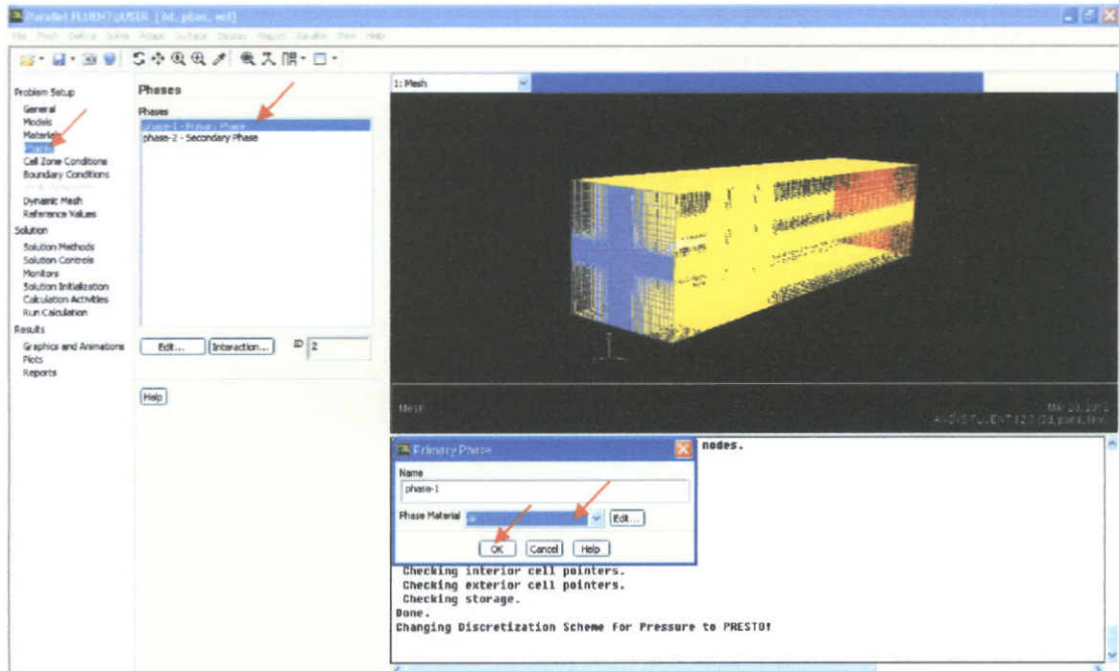
Materials: water-liquid (h2o<l>)>Copy>Close



7. กำหนดเฟส (Phase) ของของไหล

Phases>Phase-1 – Primary Phase>Phase Material: air>OK

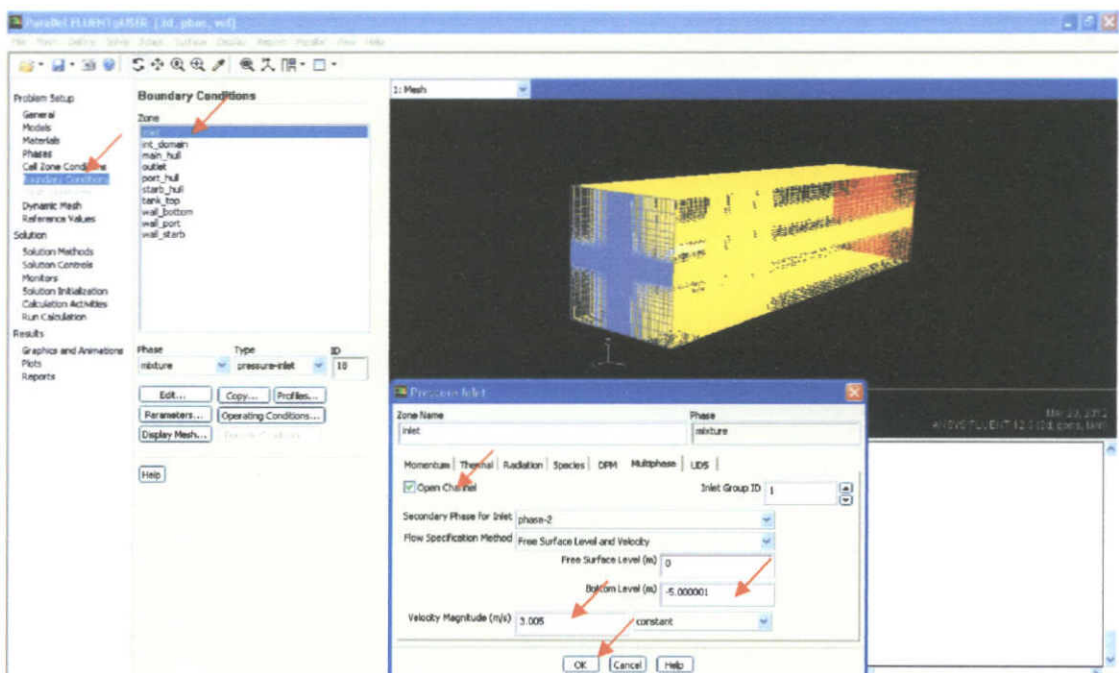
>Phase-2 – Secondary Phase>Phase Material: water-liquid>OK



8. กำหนดเงื่อนไขขอบเขตที่ทางเข้า (Inlet)

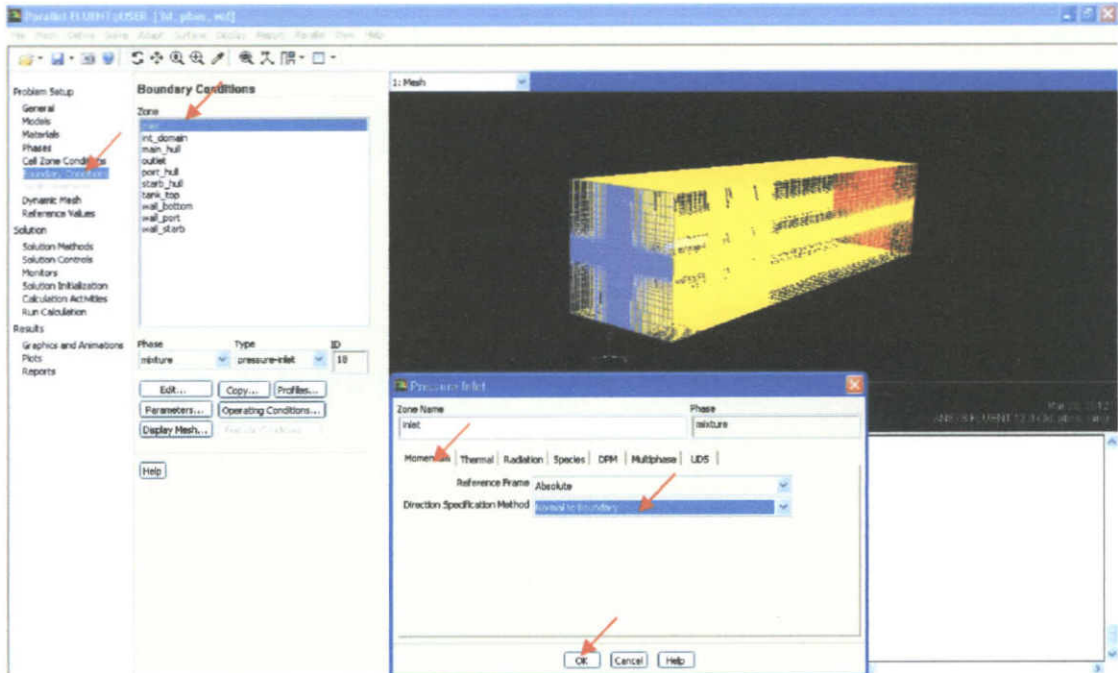
Boundary Conditions>Inlet>Multiphase>Open Channel>Bottom Level (m): -5 /

Velocity Magnitude (m/s): 3.005 >OK



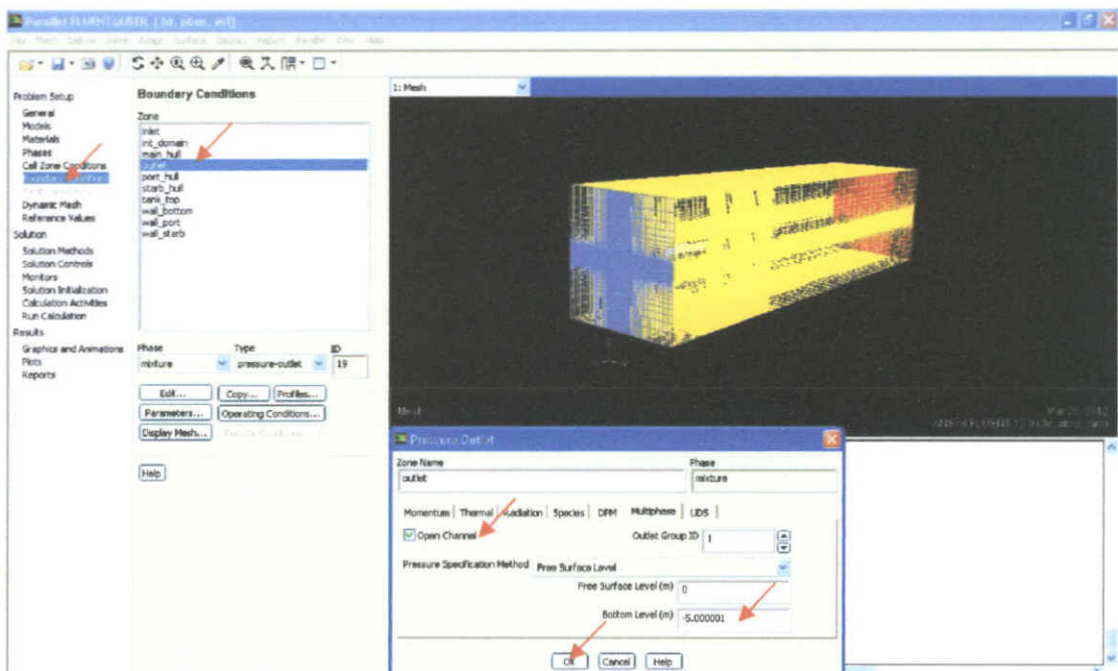
9. กำหนดเงื่อนไขขอบเขตที่ทางเข้า (Inlet)

Boundary Conditions>Inlet>Momentum>Direction Specification Method:
Normal to Boundary>OK



10. กำหนดเงื่อนไขขอบเขตที่ทางออก (Outlet)

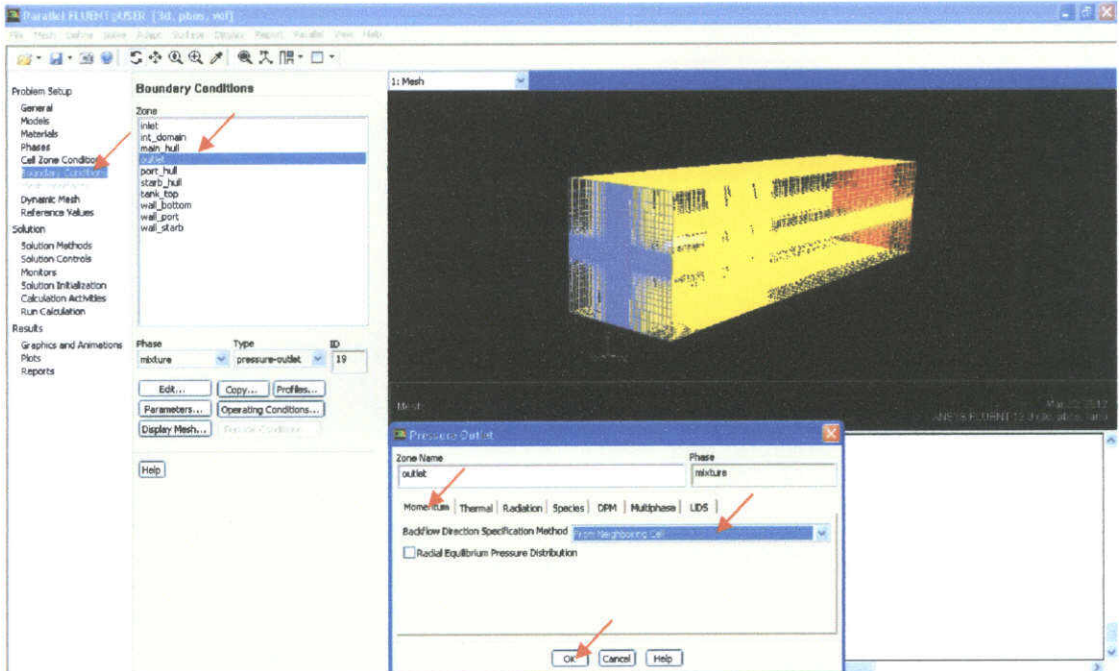
Boundary Conditions>Outlet>Multiphase>Open Channel>Bottom Level (m): -
5 >OK



11. กำหนดเงื่อนไขขอบเขตที่ทางออก (Outlet)

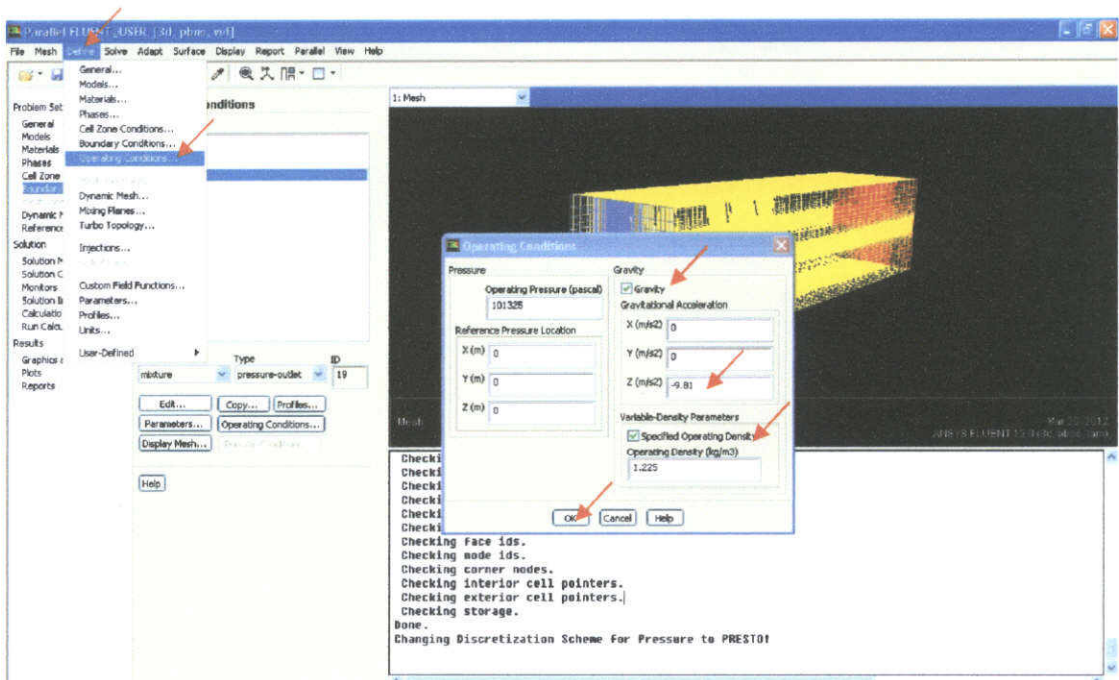
Boundary Conditions>Outlet>Momentum>Backflow Direction Specification

Method: From Neighboring Cell>OK



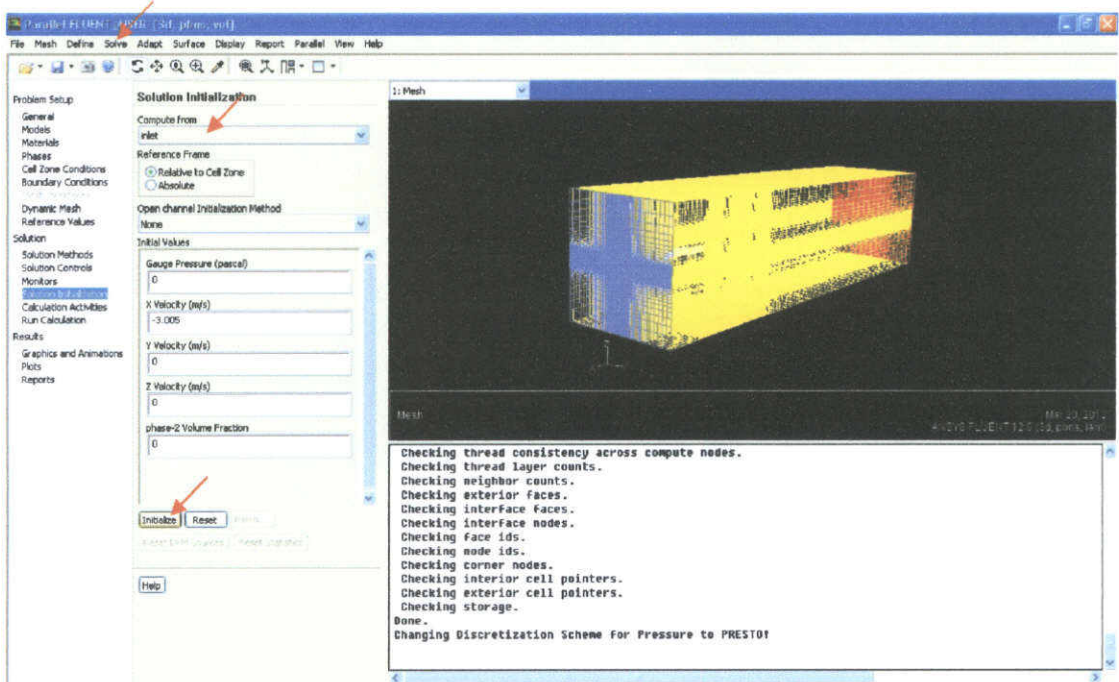
12. กำหนดเงื่อนไขการดำเนินการ

Define>Operating Conditions>Gravity: z (m/s²) -9.81 / Specified Operating Density>OK



13. กำหนดการแก้ปัญหา

Solve>Initialization>Compute from: Inlet>Initialize

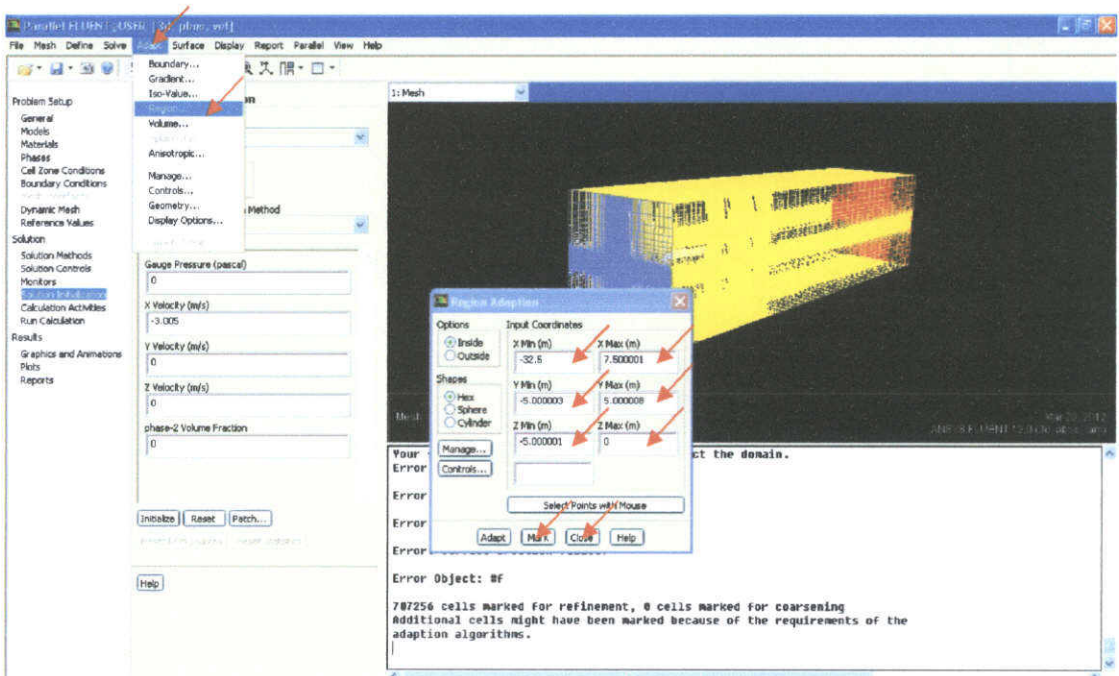


14. ทำการกำหนดขอบเขตของไหล

Adapt>Region>Input Coordinates "Boundary of water-liquid">Mark>Close

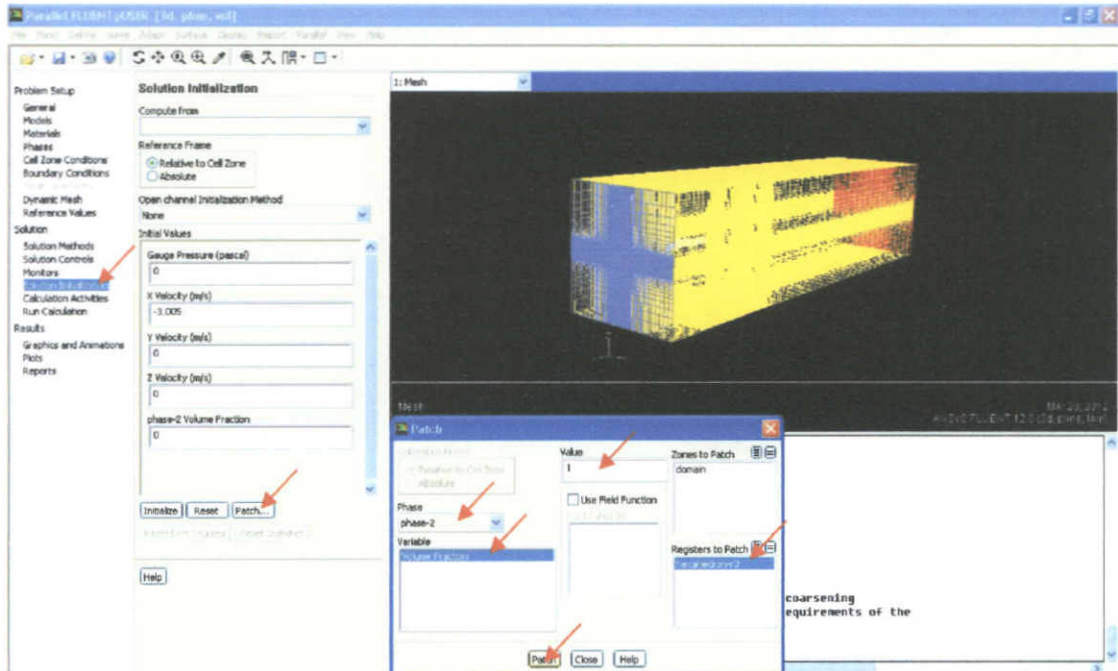
X Min (m): -32.5, X Max (m): 7.5, Y Min (m): -5, Y Max (m): 5,

Z Min (m): -5, Z Max (m): 0



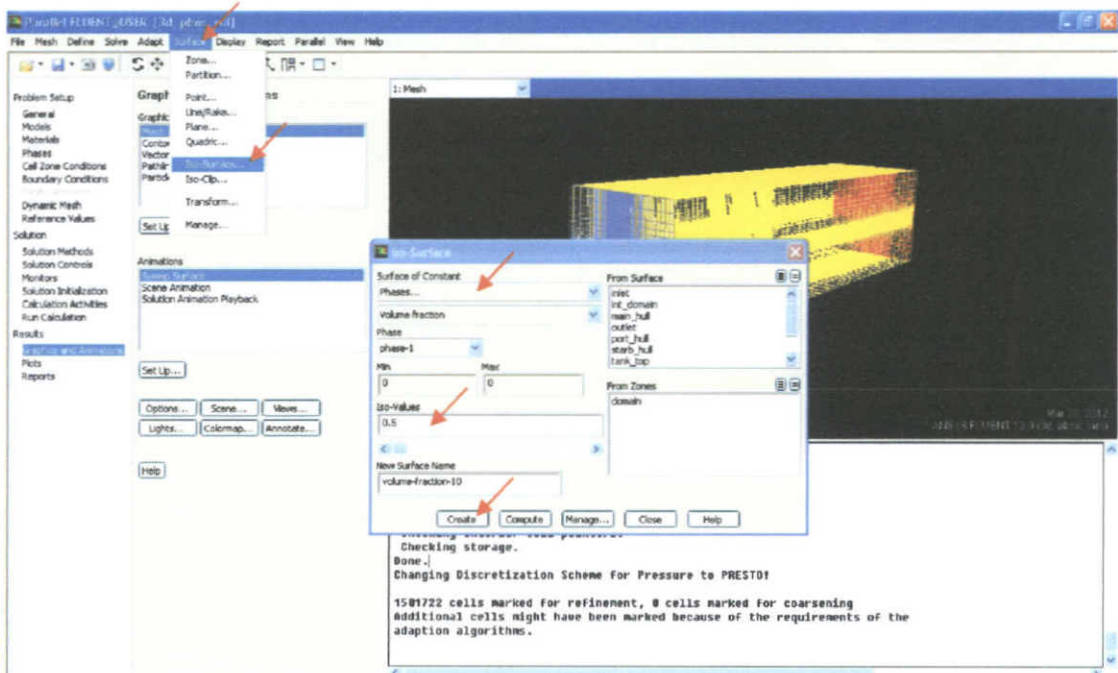
15. ทำการกำหนดค่าเฟส (Phase)

Solution Initialization>Patch>Phase: phase-2>Variable: Volume Fraction>Value: 1>Registers to Patch: hexahedron-r0>Patch>Close



16. ทำการสร้างพื้นผิวอิสระ

Surface>Iso-Surface>Surface of Constant: Phases>Iso-Values: 0.5>Create



17. ทำการกำหนดการแสดงผล (Monitors)

Monitors>Residuals – Print, Plot: continuity 1e-06

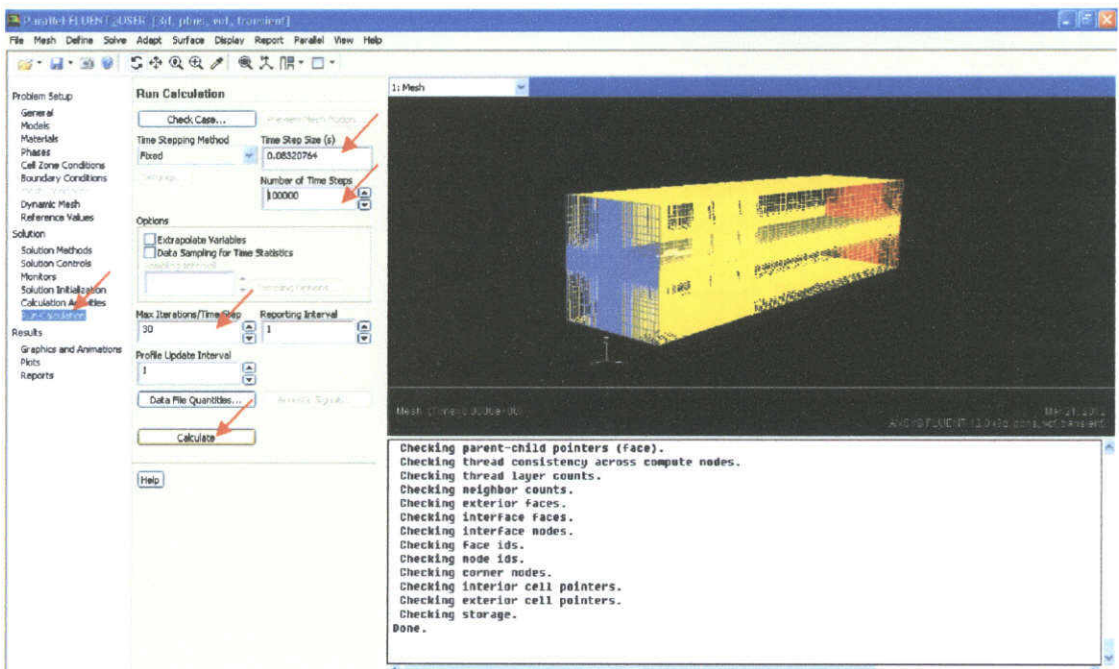
>Drag - Plot



18. ทำการตั้งค่าการคำนวณ

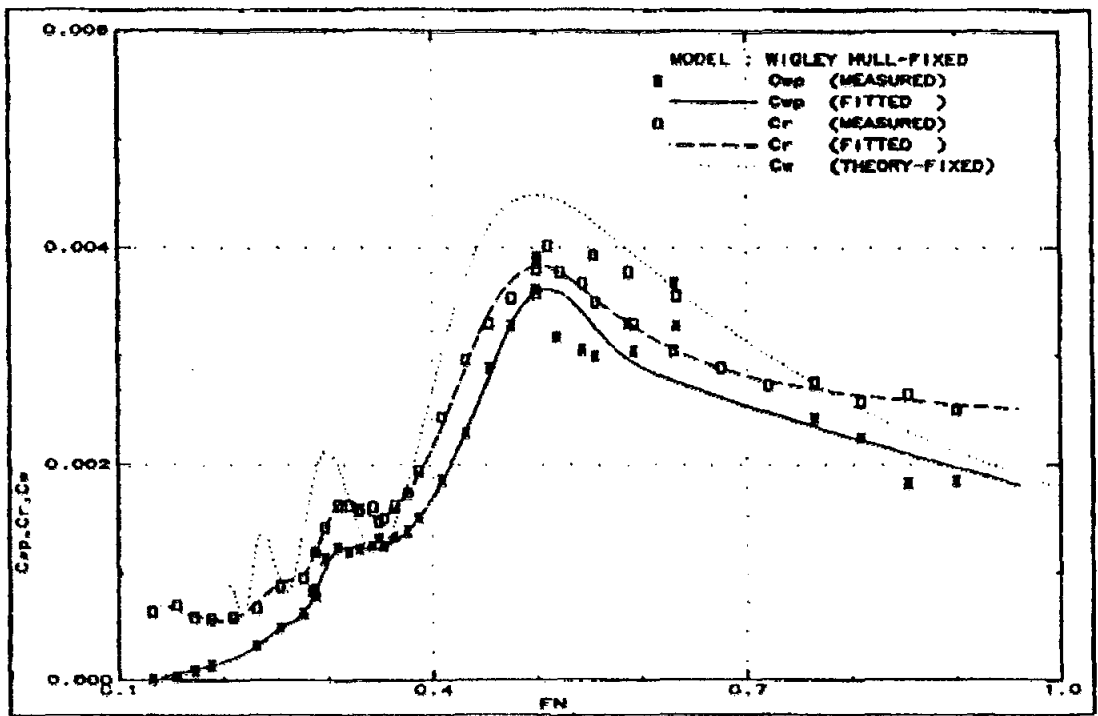
Run Calculation>Time Step Size (s): 0.08320764 >Number of Time Steps:

100,000> Max Iterations/Time Step: 30>Calculate



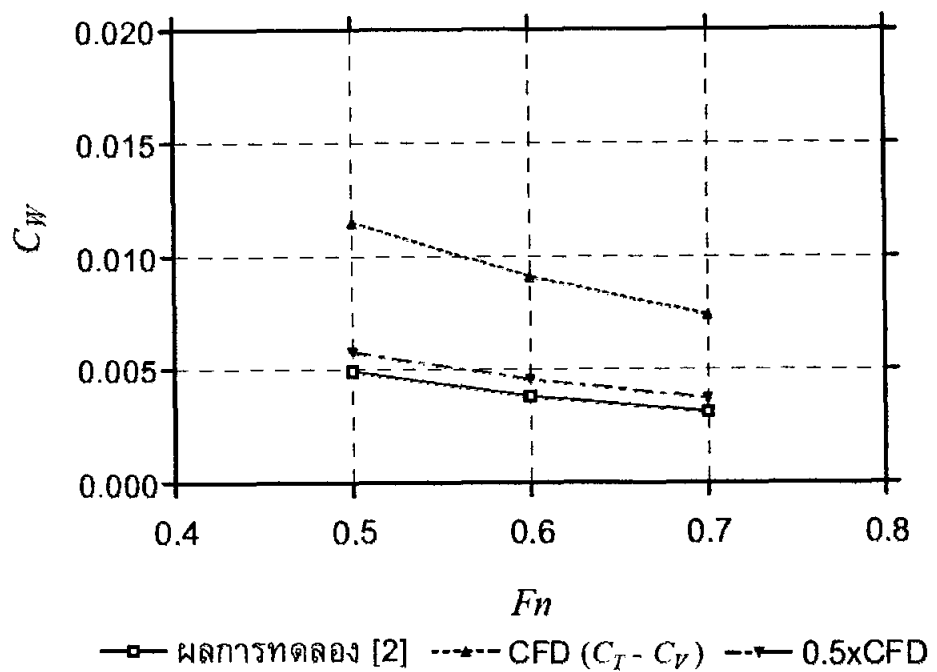
ภาคผนวก ค.
ผลการทดลองลากเรือจำลอง

1. ผลการทดลองลากเรือจำลองเรือท้องเดี่ยวเทียบกับ Model 1



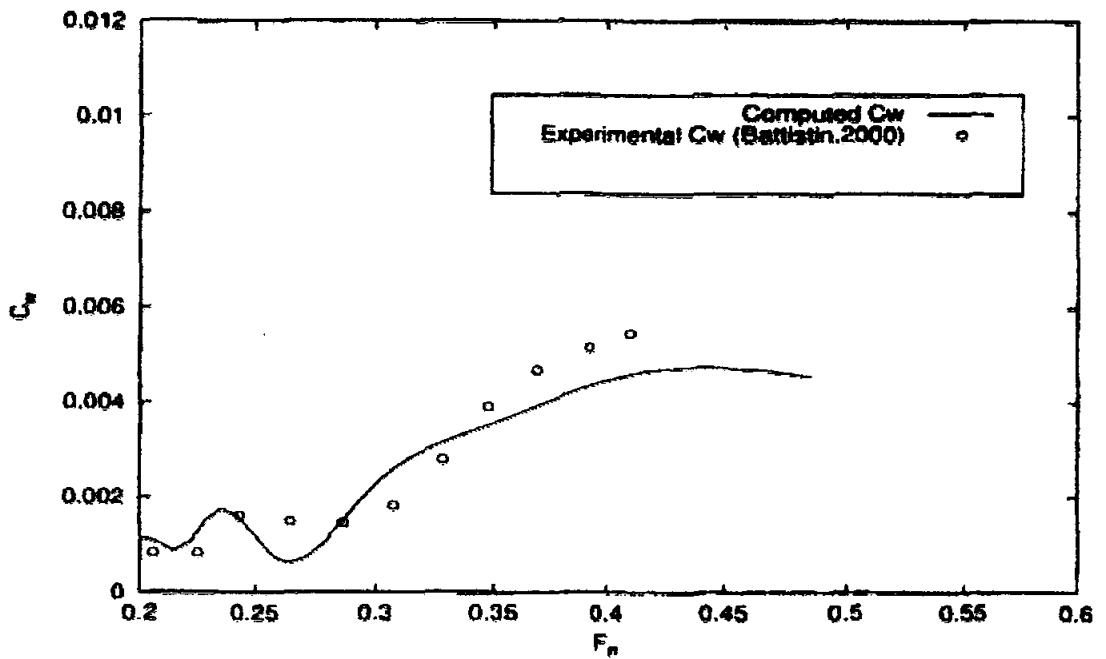
รูปที่ ค-1 กราฟผลการทดลองลากเรือจำลองเรือท้องเดี่ยว [1]

2. ผลการทดลองลากเรือจำลองเรือท้องคู่เทียบกับ Model 2 - 4



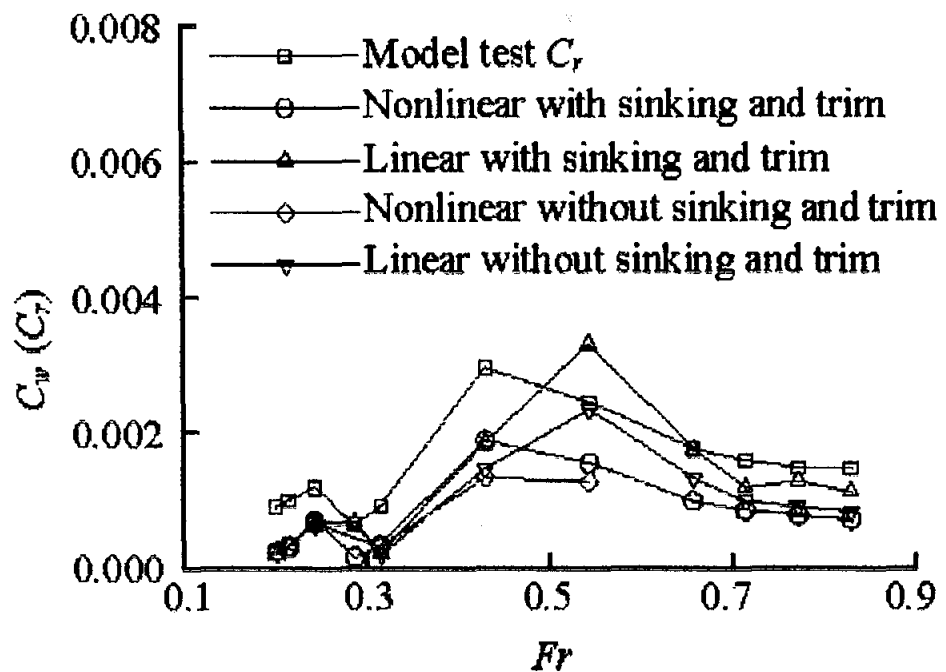
รูปที่ ค-2 กราฟผลการทดลองลากเรือจำลองเรือท้องคู่ [5]

3. ผลการทดลองลากเรือจำลองเรือสามท้องเทียบกับ Model 5



รูปที่ ค-3 กราฟผลการทดลองลากเรือจำลองเรือสามท้องของ Battistin [19]

4. ผลการทดลองลากเรือจำลองเรือสามท้องเทียบกับ Model 6



รูปที่ ค-4 กราฟผลการทดลองลากเรือจำลองเรือสามท้องของ Wang และ Lu [20]

ภาคผนวก ง.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

การศึกษาหาค่าแรงต้านทานคลื่นของเรือไตรมารานโดยการคำนวณพลศาสตร์ของไหล Study of Wave Resistance of a Trimaran Ship Using Computational Fluid Dynamics

อมรเดช กานตันณินิต¹ และ มนต์ศักดิ์ พิมสาร¹

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

* ติดต่อ: โทรศัพท์: 086 865 6425 E-mail: amorndech_k@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาการใช้การคำนวณพลศาสตร์ของไหลเพื่อหาแรงต้านทานคลื่น ในการวิเคราะห์จะพิจารณาการกระทำระหว่างน้ำและอากาศ และพัฒนาการของคลื่น แต่จะไม่คำนึงถึงการกระทำจากแรงต้านทานความเสียดทานหรือการไหลเป็นแบบไม่มีความหนืด (Inviscid flow) ในเบื้องต้นของการจำลองการคำนวณพลศาสตร์ของไหล ได้ทดลองเปรียบเทียบกับเรือทอ้งเดี่ยว (Monohull) และเรือทอ้งคู่ (Catamaran) ที่ความเร็วเลขฟรูด (Froude number, Fn) ในช่วง 0.5 - 0.7 และได้ทำการบันทึกค่าแรงดัน จากนั้นคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่น เปรียบเทียบกับผลการทดลองลากเรือจำลองในถังลากเรือ (Towing Tank Test) ของ Insel และ Molland [1] เพื่อยืนยันว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสอดคล้องกับผลการทดลอง ซึ่งจากการเปรียบเทียบพบว่าได้ค่าความแตกต่างไม่เกิน 15% จากนั้นนำเสนอการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นที่เกิดขึ้นกับเรือไตรมารานที่ความเร็วเลขฟรูดในช่วง 0.33 - 0.371 และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองที่ทดสอบกับเรือจำลอง จากผลลัพธ์พบว่าได้ค่าความแตกต่างกับการทดลอง 4-33% โดยค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าต่ำกว่าค่าจากการทดลอง

คำหลัก: วิธีคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล, แรงต้านทานคลื่น, เรือไตรมาราน

Abstract

The purpose of this study is to assess the use of Computational Fluid Dynamics (CFD) to analyze wave resistance. In the analysis, the air-water interaction and wave formation are considered but frictional resistance is neglected or the flow is assumed to be inviscid. At first, the simulations of monohull model and catamaran model were implemented by varying Froude number from 0.5 to 0.7. The pressure force was recorded for each simulation and then employed to calculate the wave resistance coefficient. The obtained wave resistance coefficients were later compared with the towing tank test results, conducted by Insel and Molland [1], to validate the simulated results. The comparison shows that the maximum discrepancy is 15%. Later, the simulation of trimaran model was carried out to evaluate wave resistance coefficient by varying Froude number from 0.33 to 0.371. The obtained wave resistance coefficients were compared with the experimental data and it was found that the discrepancy is varied from 4 to 33

percent. The simulated values are less than the tested results.

Keywords: CFD, wave resistance, trimaran ship

1. บทนำ

ตัวเรือไตรมาราน (Trimaran hull) เป็นตัวเรือที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นเรือที่มีตัวเรือ 3 ท้อง การออกแบบเรือไตรมาราน โดยทั่วไปจะออกแบบให้รูปทรงตัวเรือเพรียว ตัวเรือหลัก (Main hull) 1 ลำมีขนาดยาวและ ตัวเรือด้านข้าง (Outtrigger) 2 ลำมีขนาดสั้น ดังรูปที่ 1 [2] ตัวเรือด้านข้างได้ถูกยึดเข้ากับตัวเรือหลักของแต่ละข้าง ซึ่งทำให้ตัวเรือไตรมารานมีคุณลักษณะความคงทนทะเล (Sea-keeping) และการทรงตัว (Stability) ที่ดีเยี่ยม (Kang, et. al. 2001) [3] ด้วยคุณสมบัติที่พิเศษเหล่านี้ ทำให้เรือไตรมารานได้ถูกนำมาใช้เป็นเรือความเร็วสูง



รูปที่ 1 เรือไตรมาราน แสดงตำแหน่งของตัวเรือหลัก (Main hull) และตัวเรือด้านข้าง (Outtrigger) [2]

งานวิจัยที่ผ่านมาศึกษาถึงคุณสมบัติต่างๆ ที่สัมพันธ์กับความเร็วของเรือไตรมาราน เช่น Armstrong [4] พบว่าการออกแบบตัวเรือที่เพรียวของเรือไตรมาราน (อัตราส่วนความกว้างต่อความยาวตัวเรือ (Beam to Length ratio)) ที่น้อยมาก มีผลทำให้สามารถลดแรงต้านทานคลื่น (Wave making resistance) ได้ และ Harvald [5] สามารถหาแรงต้านทานคลื่นได้จากแรงต้านทาน จากการสูญเสียพลังงานในรูปแบบคลื่น ต่อมาในงานวิจัยของ Xu และ Zou [6] และ Kang et. al [7] ได้แสดงให้เห็นว่าแรงต้านทานคลื่นลดลงได้จากตำแหน่งที่เหมาะสมของตัวเรือด้านข้างกับตัวเรือหลัก จากที่กล่าวมาข้างต้นแรงต้านทานคลื่นมีอิทธิพลสูงมากในเรือความเร็วสูง

ในการทดลองในน้ำนิ่งกับเรือใหม่พบว่า แรงต้านทานแรงเสียดทานเท่ากับ 80-85% ของแรงต้านทานรวมในเรือความเร็วต่ำ และเท่ากับ 50% ในเรือความเร็วสูง โดยที่แรงต้านทานแรงเสียดทานสามารถหาได้จากสมการของ ITTC 1957 Model – Ship Correlation Line [8] ซึ่งแรงต้านทานแรงเสียดทานจะมีค่าเพิ่มขึ้นแปรผันตรงกับความเร็วของเรือ โดยที่มีค่าพื้นที่ผิวสัมผัสตัวเรือและน้ำเป็นตัวแปรที่คงที่ ทำให้แรงต้านทานคลื่นเป็นเป้าหมายหลักในการลดแรงต้านทานในเรือไตรมารานที่มีความเร็วสูง การออกแบบเรือ ให้สามารถทำความเร็วสูงสุดได้ตามความต้องการ จำเป็นที่จะต้องทราบค่าแรงต้านทานรวม (Total resistance, R_T) เพื่อใช้หาขนาดของเครื่องยนต์ที่เหมาะสมสำหรับน้ำหนักของเรือและปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการเดินทาง

โดยทั่วไป ผู้ออกแบบจะต้องสร้างเรือจำลองขึ้นมาและทดสอบเรือที่ความเร็วต่างๆ โดยทำการทดสอบใน Towing Tank จะได้ค่าแรงต้านทานรวมที่ถูกต้อง แต่การทดลองนี้มีค่าใช้จ่ายที่สูงและเสียเวลามากในการทดลองแต่ละครั้ง ดังนั้นถ้าการออกแบบด้วย CFD โปรแกรมสามารถนำมาใช้ในการคำนวณแรงต้านทานของตัวเรือได้ จะสามารถประหยัดเวลาและเงินทุนได้ อีกทั้งสามารถเปลี่ยนรูปแบบของเรือคุณสมบัติทางกายภาพ (สิ่งแวดล้อมและอื่นๆ) การทดลองที่ความเร็วต่างๆ ซ้ำๆ จนกว่าจะได้ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ ได้อย่างรวดเร็วกว่าการทดลองใน Towing Tank ในการสร้างเรือ ผู้ผลิตสามารถลดต้นทุนทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดลองลากเรือจำลองใน Towing Tank ได้ และยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการออกแบบตัวเรืออีกด้วย

สำหรับการศึกษากการใช้ CFD ในการหาแรงต้านทานเรือ เกรย์ [2] ได้ศึกษาการใช้ CFD โดยจำลองการไหลผ่านตัวเรือไตรมารานเพื่อหาแรงต้านทานแรงเสียดทาน โดยตัดเรื่องการกระทำระหว่าง

น้ำและอากาศ และการเกิดคลื่น ซึ่งทำให้ไม่เกิดแรงดูดจากแรงต้านทานคลื่น พบว่ามีความคลาดเคลื่อนที่สูงเนื่องมาจากการสร้างตัวเรือจำลองในโปรแกรมให้ค่าพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างตัวเรือกับน้ำมีความคลาดเคลื่อน ความผิดพลาดในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต และไฟไนต์เอลิเมนต์เมช ไม่เพียงพอ

ในการหาแรงต้านทานคลื่นด้วยวิธี CFD นั้นได้มีงานวิจัย [9] ที่นำการจำลองปริมาตรของไหล (Volume of Fluid หรือ VOF) มาใช้ โดยใช้การจำลองการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence model) แบบ $k - \epsilon$ มาตราฐานสำหรับการไหลที่มีความหนืด ด้วยของไหล 2 เฟส (น้ำและอากาศ) โดยกำหนดให้น้ำไหลผ่านตัวเรือซึ่งอยู่กับที่และไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง พบว่าค่าแรงต้านทานที่ได้จากวิธี CFD สอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดลอง ความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณด้วยแบบจำลองในงานวิจัยนี้มีค่าคงที่ประมาณ 0.5 เท่าของผลการทดลอง

งานวิจัยที่นี้ทำการปรับเปลี่ยนการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต โดยใช้การจำลองปริมาตรของไหล (VOF) แบบ Open Channel Flow ด้วยของไหลแบบ 2 เฟส (น้ำและอากาศ) โดยกำหนดให้การไหลเป็นแบบไม่มีความหนืด (Inviscid flow) เพื่อตัดผลกระทบที่เกิดจากแรงต้านทานแรงเสียดทาน (Frictional resistance) และไม่มีผลกระทบจากการจม (Sinkage) และทริม (Trim) เพื่อหาค่าแรงต้านทานคลื่นของเรือไตรมาราน สำหรับใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเบื้องต้น หรือก่อนการสร้างโมเดลเรือจำลองเพื่อทำการทดสอบจริงใน Towing Tank ต่อไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แรงต้านทานเรือ

แรงต้านทานของเรือมีอิทธิพลกับความเร็วระวางขับ และรูปทรงของตัวเรือ แรงต้านทานตัวเรืออยู่ในรูปของ “แรงกระทำจากของไหลกระทำกับตัวเรือในทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของเรือ” [5] แรงต้านทานรวม (Total resistance, R_T) ประกอบด้วยแรงต้านทานหลายชนิด รูปแบบการแบ่งแยก สามารถ

แบ่งได้หลายแบบ ซึ่งในที่นี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือ แรงต้านทานที่เหลือ (Residuary resistance, R_R) และแรงต้านทานแรงเสียดทาน (R_F) [10]

$$R_R = R_T - R_F \quad (1)$$

โดยแรงต้านทานที่เหลือนี้ประกอบด้วย แรงต้านทานจากคลื่น (Wave making resistance, R_W) เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งเป็นเป้าหมายในการศึกษาโดยทั่วไป การทดลองลากเรือใน Towing Tank จะได้ค่าแรงต้านทานรวม และจะได้ค่า R_W จากสมการที่ (1) โดยที่ R_F สามารถคำนวณได้จากพื้นที่ผิวเปียก (Wetted surface area, A) ผ่านสมการของ ITTC 1957 Model – Ship Correlation Line [8] และ R_W สามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการที่ (2)

$$R_W = \frac{1}{2} \rho A V^2 C_W \quad (2)$$

เมื่อ C_W เป็นสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่น (Wave making resistance Coefficient), V เป็นความเร็วของเรือ (m/s), A เป็นค่าพื้นที่ผิวเปียก (m^2), ρ เป็นค่าความหนาแน่นของไหล (kg/m^3) ในการใช้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานกับการจำลองเรือ โดยใช้เลขฟรูด (Froude number, Fn) เป็นตัวแปรไร้มิติในการแสดงความสัมพันธ์ของแรงต้านทานคลื่นต่อความเร็ว สามารถหาค่าได้จาก

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad (3)$$

เมื่อ V เป็นความเร็วของเรือ (m/s), L เป็นความยาวตัวเรือที่แนวน้ำ (m) และ g เป็นค่าคงที่อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (m/s^2)

2.2 การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล

การพิจารณาการจำลองการไหลโดยตัดผลกระทบที่เกิดจากความหนืดผ่านตัวเรือแบบ 2 เฟส ด้วยวิธีเชิงตัวเลขแบบปริมาตรจำกัด (Finite Volume Method, FVM) ร่วมกับแบบจำลองปริมาตรของไหล (VOF) แบบ implicit scheme สำหรับการเปลี่ยนแปลงที่ผิวน้ำและคุณสมบัติการไหลอื่นๆ ของแต่ละปริมาตรควบคุมรวมกับการใช้ open channel

flow เพื่อให้ความดันที่ทางเข้าแปรผันตามความลึกของระดับน้ำ สุดท้ายทำการ discretize (Discretization) สมการควบคุม (Governing equation) สำหรับการไหลแบบไม่มีความหนืดหรือสมการอยเลอร์ (Euler equation) ที่ได้จากการตัดเทอมของความหนืดจากสมการ Navier-Stokes ด้วยการหาค่าเฉลี่ยแบบแยกพิจารณา (Segregated solution method) โดยสมการที่เกี่ยวข้อง เช่น สมการอนุรักษ์มวล (Mass conservation equation), สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Momentum conservation equation), สมการการส่งผ่าน (Transport equation), สมการแบ่งสัดส่วนปริมาตร (Volume fraction equation) และ สมการแรงดันรวม (Total pressure) สามารถศึกษาได้จากเอกสารอ้างอิง [11]

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การพิสูจน์แบบจำลองตัวเรือ Wigley

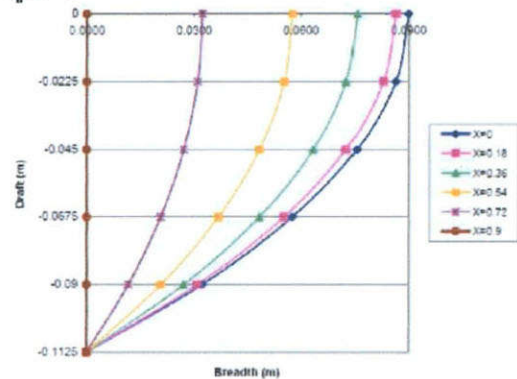
การจำลองตัวเรือ Wigley เพื่อใช้ในการรับรองผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรมคำนวณทางพลศาสตร์ (Fluent) โดยการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่น (C_w) ที่ได้จากการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลกับค่าที่ได้จากการทดลองลากเรือจำลองในถังลากเรือ (Towing tank test) ซึ่งได้แรงต้านทานรวมและจะได้ค่า R_w จากสมการที่ (1) โดยที่ R_f สามารถคำนวณได้จากพื้นที่ผิวเปียก (Wetted surface area, A) ผ่านสมการของ ITTC 1957 Model – Ship Correlation Line [8] โดยกำหนดให้ค่าความหนาแน่นของของไหลเท่ากับ 998.2 kg/m^3 และค่าคงที่อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงเท่ากับ 9.81 m/s^2 ในการทดลอง ชั้นแรกในการวิจัยในครั้งนี้ ได้ทำการสร้างรูปทรงทางคณิตศาสตร์ของตัวเรือขึ้นจากสมการต่อไปนี้ [12]

$$y = \frac{B}{2}(1 - \xi^2)(1 - \zeta^2) \quad (4)$$

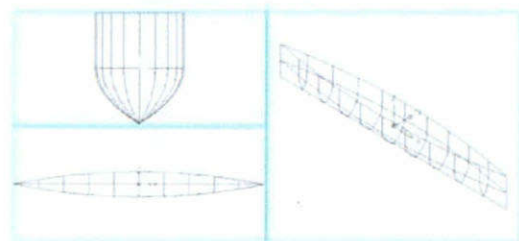
$$\text{เมื่อ } \xi = \frac{x}{L/2} \in [-1, 1] \quad (5)$$

$$\text{และ } \zeta = \frac{z}{T} \in [-1, 0] \quad (6)$$

โดยให้ ความยาวตัวเรือที่แนวน้ำ 1.8 เมตร (L) ความกว้างตัวเรือที่แนวน้ำ 0.18 เมตร (B) ระยะกินน้ำลึก 0.1125 เมตร (T) ความลึกตัวเรือ 0.225 เมตร (D) และพื้นที่ผิวเปียก 0.482 ตารางเมตร [1] นำค่า L และ T มาแบ่งระยะเพื่อแทนค่า x และ z ในสมการที่ (5) และ (6) ตามลำดับ นำค่าที่ได้แทนลงในสมการที่ (4) นำค่า y ที่ได้ สร้างพิกัดสายเส้นตัวเรือ ดังรูปที่ 2 เพื่อใช้ในการสร้างโมเดลตัวเรือ Wigley ที่มีความสมมาตรตามความยาวและความกว้าง ใน CAD software ดังรูปที่ 3

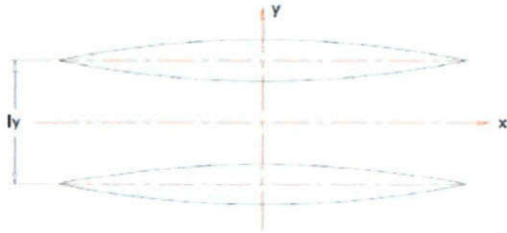


รูปที่ 2 แสดงสายเส้นตามขวาง (Body plan) ของตัวเรือ Wigley ได้แนวน้ำ ที่ตั้งความกว้าง



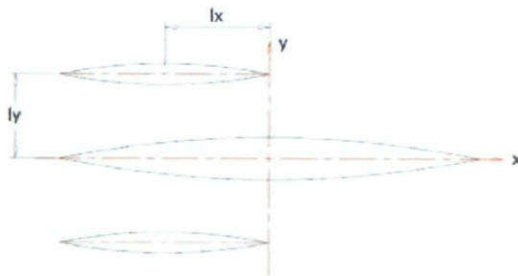
รูปที่ 3 แสดงโมเดลตัวเรือ Wigley จาก CAD software

สำหรับเรือสองห้องได้นำตัวเรือ Wigley มาจำลองเป็นตัวเรือคู่ โดยมีระยะห่างระหว่างกึ่งกลางตัวเรือ 0.54 เมตร (l_y) ดังรูปที่ 4 เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลการจำลองแบบไม่มีความหนืดที่ได้กับผลการจำลองแบบมีความหนืด Turbulence model แบบ k - ϵ มาตรฐาน [9] และผลจากการทดลองลากเรือจำลองในถังลากเรือ [1]



รูปที่ 4 แสดงระยะห่างของตัวเรือคู่

การจำลองเรือไตรมารานโดยใช้ตัวเรือ Wigley โดยกำหนดให้ค่า l_x เท่ากับ $0.0L$ ($x = 0$ m) และ l_y เท่ากับ $0.2L$ ($y = 0.36$ m) ตามพิกัดแกน x และ y ตัวเรือหลักมีความยาวเป็นสองเท่าของตัวเรือด้านข้าง ดังรูปที่ 5 เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลการจำลองที่ได้ กับผลจากการทดลองลากเรือจำลองในถังลากเรือ [13]



รูปที่ 5 แสดงระยะห่างของตัวเรือไตรมาราน

แบบจำลองถังลากเรือมีขนาดเป็นไปตามงานวิจัยของ Insel และ Molland [1] ยกเว้นส่วนบรรยากาศและความยาวถัง เนื่องจากใช้ในการเปรียบเทียบกับผลการจำลอง CFD ของตัวเรือคู่ [9] จึงกำหนดให้มีขนาดความยาวถังและระยะห่างระหว่างหัวเรือและทางเข้าของไหลเท่ากัน โดยมีขนาดเป็นดังรูปที่ 6

ทำการแบ่งกริดปริมาตรควบคุมแต่ละโมเดล โดยกริดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ใช้กริดแบบผสมด้วยรูปทรงกริดสี่เหลี่ยมและกริดหกหน้า (Quadrilateral and Hexahedral) โดยรายละเอียดตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดแต่ละโมเดลที่ใช้ในการวิจัย

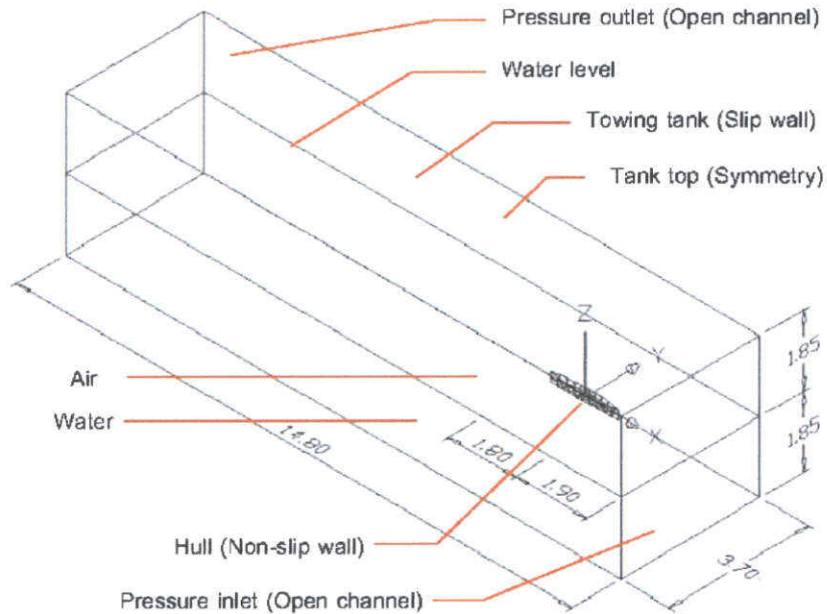
Model	Hull	Flow	Grid (cell)	A (m ²)
1	Mono	Inviscid	1,065,344	0.482
2	Cat	Viscous	897,846	0.964
3	Cat	Inviscid	897,846	0.964
4	Cat	Inviscid	1,235,379	0.964
5	Tri	Inviscid	1,164,412	0.723

Model 2 คือผลการทดลองจากงานวิจัยตัวเรือคู่ [9] เป็นการใชโมเดลการไหลแบบมีความหนืด (Viscous flow) และได้นำมาพัฒนาการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตใน Model 3 เป็นโมเดลการไหลแบบไม่มีความหนืด (Inviscid flow) เพื่อเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต

3.2 การกำหนดเงื่อนไข CFD

การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตดังรูปที่ 6 โดยให้น้ำและอากาศไหลเข้าด้วยความเร็วคงที่เทียบเท่าความเร็วเรือแบบ Open channel โดยที่ผนังถังจำลองเคลื่อนที่ตามความเร็วเรือ และตัวเรือเป็น Non-slip ขณะที่ผิวน้ำเป็นแบบจำลอง VOF Implicit scheme แบบ Open channel flow

คำนวณผลเฉลย ความดัน-ความเร็วแบบ SIMPLE ด้วยสภาวะไม่คงตัว (Unsteady state calculation) แปรผันตามเวลาที่ Time step เท่ากับ $L/20V$ วินาที และการตีศรัทธาเซชันค่าแรงดันด้วยวิธี PRESTO ค่าโมเมนตัมและสัดส่วนปริมาตร (Volume fraction) ด้วยวิธี First order upwind



รูปที่ 6 แสดงการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตและขนาดของแบบจำลองถังลากเรือสำหรับจำลองใน CFD

4. ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผลการวิจัย

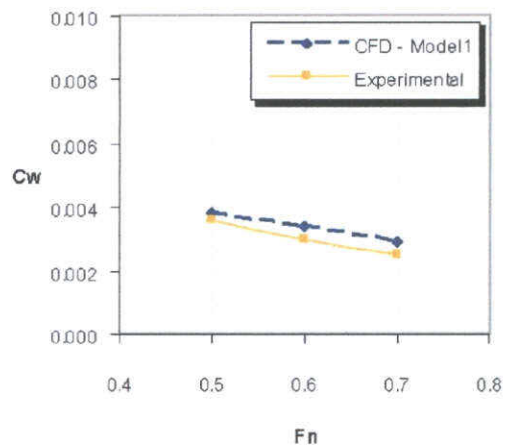
การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลด้วยโมเดลตามตารางที่ 1 โดยทำการเปลี่ยนความเร็วเลขฟรูด 0.5, 0.6 และ 0.7 ใน Model 1 - 4 และ 0.33, 0.35, 0.371, 0.392 ใน Model 5 ทำการบันทึกค่า Pressure force หรือแรงดันในแนวตั้งฉากกับพื้นผิวตัวเรือ (Normal pressure หรือ Wave resistance, R_w) จากสมการที่ (2) ทำการคำนวณค่า C_w ด้วยค่าแรงต้านทานคลื่น (R_w) ที่บันทึกได้จากการจำลองการไหลและค่าพื้นที่ผิวเปียก (A) ตามตารางที่ 1 แบ่งตามประเภทตัวเรือดังนี้

4.1 เรือท้องเดี่ยว (Monohull)

นำค่า C_w จาก Model 1 พล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์เลขฟรูดในช่วง 0.5 - 0.7 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองลากเรือจำลอง [1] ดังรูปที่ 7 พบว่า C_w มีค่าลดลงเมื่อเลขฟรูดเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับผลการทดลองลากเรือจำลอง และแสดงให้เห็นว่าเมื่อเรือมีความเร็วสูงขึ้นแรงต้านทานคลื่นมีค่าลดลง

ค่าความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณด้วย CFD กับผลการทดลองลากเรือจำลอง ในเรือท้องเดี่ยว

พบว่า อยู่ระหว่าง 6 - 15% (ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 11%) โดยค่าที่ได้จาก CFD มีค่ามากกว่าผลการทดลองลากเรือจำลอง



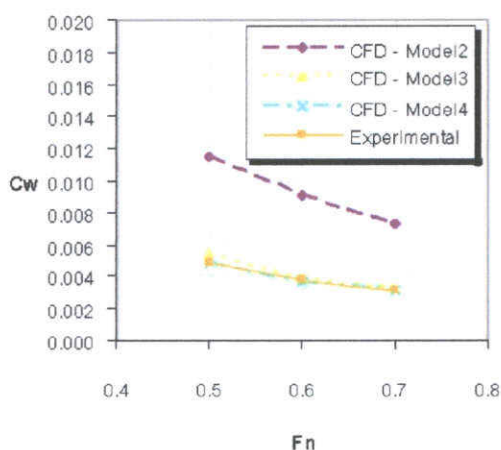
รูปที่ 7 การเปรียบเทียบค่า C_w ที่ได้จากการคำนวณ CFD กับ ผลการทดลองของ Model 1

4.2 เรือท้องคู่ (Catamaran)

จากการพล็อตกราฟค่า C_w ด้วยตัวเรือคู่ Model 2 - 4 เปรียบเทียบกับผลการทดลองลากเรือจำลอง [1] พบว่า แนวโน้มที่ได้จากการคำนวณ CFD

มีความสอดคล้องกับผลการทดลองโดยเมื่อเรือมีความเร็วสูงขึ้นแรงต้านทานคลื่นจะลดลงสอดคล้องเช่นเดียวกับเรือท้องเตี้ย

ค่าความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณ CFD แบบ Viscous flow [9] ใน Model 2 มีค่าอยู่ระหว่าง 134 – 138% (ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 136%) และนำ Model 2 ปรับเงื่อนไข CFD เป็นแบบไม่มีความหนืดใน Model 3 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าลดลงอยู่ระหว่าง 2 – 10% (ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 6%) โดยค่าที่ได้จาก CFD มีค่ามากกว่าผลการทดลองและนำ Model 3 แบ่งกริดเพิ่มขึ้นเป็น Model 4 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อน มีค่าลดลงไม่เกิน 3% (ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 1%) โดยค่าที่ได้ของเลขฟรูด 0.6 – 0.7 มีค่าน้อยกว่าผลการทดลองลากเรือจำลอง



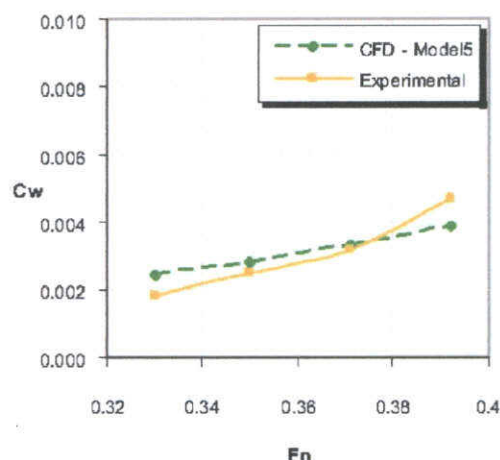
รูปที่ 8 การเปรียบเทียบค่า C_w ที่ได้จากการคำนวณ CFD กับ ผลการทดลองของ Model 2 – 4

เมื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณด้วย CFD ใน Model 2 และ 3 พบว่า การใช้การจำลองการไหลแบบไม่มีความหนืด ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงมากขึ้นเนื่องมาจากการตัดผลกระทบอันเนื่องมาจากแรงเสียดทานผิวที่เกิดจากความหนืด และใน Model 3 และ 4 การเพิ่มจำนวนกริดและรูปแบบกริดที่ใช้ใน Model 4 ในปริมาตรควบคุม ให้ผลการคำนวณที่มีค่าความคลาดเคลื่อนลดลง

4.3 เรือสามท้อง (Trimaran)

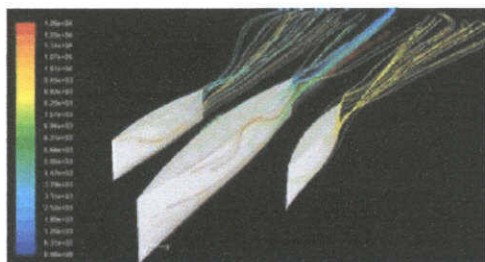
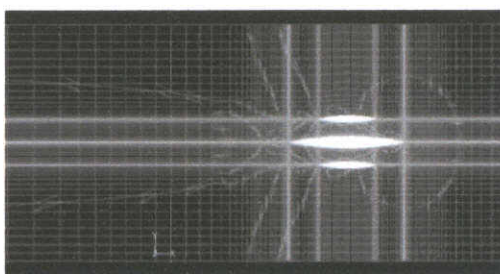
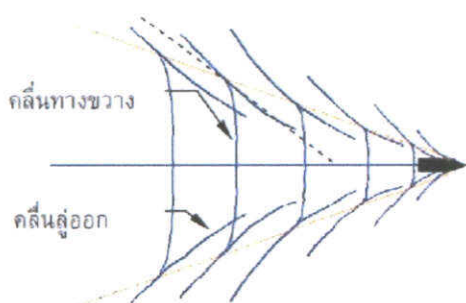
ผลการคำนวณด้วย CFD จาก Model 5 เปรียบเทียบผลการทดลองลากเรือจำลอง [13] ตามรูปที่ 9 พบว่า ค่าแรงต้านทานคลื่นของเรือไตรมารานมีค่าเพิ่มขึ้นแปรผันตามความเร็วเรือในช่วงเลขฟรูด 0.330 – 0.392 สอดคล้องกับผลการทดลองลากเรือจำลอง [13]

ค่าความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณ CFD เปรียบเทียบกับผลการทดลองลากเรืออยู่ระหว่าง 4 – 33% (ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 17%) พบว่า ในช่วงเลขฟรูด 0.330 – 0.371 ค่าที่ได้จาก CFD มีค่ามากกว่าผลการทดลองลากเรือ และที่ เลขฟรูด 0.392 ค่าที่ได้จาก CFD มีค่าต่ำกว่าผลการทดลองลากเรือ เมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนในการใช้ CFD เปรียบเทียบกับเรือท้องเตี้ยและเรือท้องคู่ เรือไตรมารานได้ผลความคลาดเคลื่อนที่มากกว่า

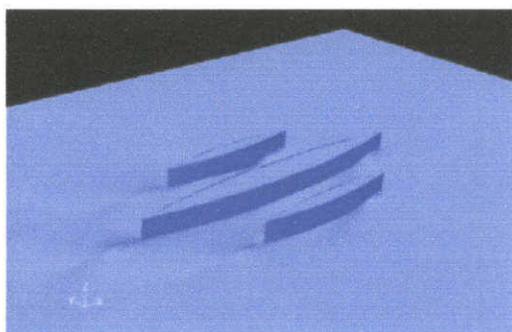


รูปที่ 9 การเปรียบเทียบค่า C_w ที่ได้จากการคำนวณ CFD กับผลการทดลองของ Model 5

จากการจำลองของไหลผ่านตัวเรือไตรมาราน ดังรูปที่ 10 พบว่าทิศทางการไหลของน้ำระหว่างตัวเรือหลักและตัวเรือด้านข้างมีความแตกต่างกัน เนื่องมาจากการแทรกสอดระหว่างน้ำที่ผ่านตัวเรือทำให้การไหลที่ด้านหลังของตัวเรือด้านข้างแตกต่างกับตัวเรือหลัก โดยมีทิศทางการไหลลู่ออกมากกว่า

รูปที่ 10 Streamline ที่เกิดขึ้นที่ $Fn = 0.33$ รูปที่ 11 Wave pattern ที่ $Fn = 0.33$ 

รูปที่ 12 รูปแบบคลื่นตามทฤษฎีเคลวิน [9]

รูปที่ 13 การเกิดคลื่นที่บริเวณตัวเรือที่ $Fn = 0.33$

รูปที่ 11 รูปแบบคลื่นที่ได้จากการจำลองพลศาสตร์ของไหลที่ความเร็วเลขฟรูด 0.33 มีความสอดคล้องกับรูปแบบคลื่นตามทฤษฎีเคลวิน (Kelvin

Theory) [9] โดยที่ผิวน้ำจะประกอบด้วยคลื่นลู่ออก (Divergent waves) และคลื่นทางขวาง (Transverse waves) ดังรูปที่ 12 และคลื่นที่เกิดขึ้นบริเวณตัวเรือหลักและตัวเรือด้านข้างมีลักษณะสอดคล้องกัน ดังรูปที่ 13 โดยที่บริเวณหัวเรือ น้ำจะถูกยกตัวสูงขึ้นจากแนวระดับน้ำจากนั้นจะลดต่ำลงและเกิดท้องคลื่นเมื่อผ่านกึ่งกลางลำเรือและมีระดับความลึกเกือบคงที่เมื่อผ่านท้ายเรือ ซึ่งมีลักษณะสอดคล้องกับรูปแบบการเกิดคลื่นในงานวิจัย [9]

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่น ด้วยวิธีการคำนวณพลศาสตร์ของไหลแบบไม่มีความหนืด เรือท้องเดียวเรือท้องคู่และเรือไตรมาราน โดยผลลัพธ์ที่ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง จากผลการเปรียบเทียบพบว่า ค่าที่ได้จากผลวิเคราะห์ให้ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์แรงต้านทานคลื่นกับเลขฟรูด ไปในทิศทางเดียวกับค่าที่ได้จากการทดลอง แต่ค่าที่ได้มีความแตกต่างกันสูงสุดอยู่ 33% และค่าที่ได้จากการทดลองจะมีค่าสูงกว่า ดังนั้นวิธีการคำนวณพลศาสตร์ของไหลแบบไม่มีความหนืด จึงถือว่าเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ ที่จะนำมาใช้ออกแบบตัวเรือไตรมารานในขั้นตอนการออกแบบเบื้องต้น (Preliminary design) ต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นาวาโท สัตยา จันทระประภา และ นาวาตรี กิตติภูมิ ภูมิโคกรักษ์ณ์ กรมแผนการช่าง กรมอุทการเรือ ที่ได้เอื้อเฟื้อเอกสารและข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Insel, M., and Molland, A. F. (1991). An Investigation into the Resistance Components of High Speed Displacement Catamarans.



AME01

Proceeding of meeting of the Royal Institution of Naval Architects. London.

[2] Gray, Alexander (2007). *Preliminary Study on the Use of Computational Fluid Dynamics to Determine the Friction Resistance of a Trimaran Ship.* Major of Mechanical and Aerospace Engineering, West Virginia University, WV, 2007.

[3] Kang, K., et al. (2001). Seakeeping and Maneuvering Performance of the 2,500 Tons Class Trimaran. *Proceedings of IWSH'2001 The Second International Workshop on Ship Hydrodynamics*, Wuhan, China, pp. 38-44.

[4] Armstrong, NA. (2004) Coming Soon to a Port Near You – The 126 Metre Austral Trimaran, *International Conference: Design and Operation of Trimaran Ships*, London, U.K. 2004.

[5] Harvald, SV. AA. (1983) *Resistance and Propulsion of Ships*, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 1983.

[6] Xu, H. and Zou, Z. (2001) Numerical Prediction of Wave Making Resistance of a Trimaran, *Proceedings of IWSH'2001 The Second International Workshop on Ship Hydrodynamics*, Wuhan, China, pp. 105-109.

[7] Kang, Kun-Jin, Lee, Chun-Ju, et. Al., Design and Hydrodynamic Performance of a Frigate Class Trimaran, *International Conference: Design and Operation of Trimaran Ships*, April 2004, London, U.K. 2004 pp. 184-194.

[8] Van Manen, J. D., and Van Oossanen, P. (1988). Chapter V Resistance. *Principles of Naval Architecture, Volume II.* Lewis, E.V., editor. 1st printing. The Society of Naval Architects and Marine Engineers. USA. pp. 1-125.

[9] กิตติภูมิ ภูมิโคกรักษ์ และคณะ (2553). การวิเคราะห์ความต้านทานและรูปแบบคลื่นของเรือแบบตัวเรือคู่ ด้วยวิธีคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล, การ

ประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24, จังหวัดอุบลราชธานี

[10] Munro-Smith, R. (1973) *Ships and Naval Architecture.* Institute of Marine Engineers, St. Stephen's Bristol Press Ltd., Filton, Bristol, 1973.

[11] ANSYS FLUENT 12.0 Theory Guide (2009). *ANSYS FLUENT 12.0 Documentation, Theory Guide*, Chapter 16 Multiphase Flows. Release 12.0 © ANSYS. Inc. 2009-01-23.

[12] Peng, H. (2001) *Numerical Computation of Multi-Hull Ship Resistance and Motion.* Major Subject: Naval Architecture at Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, 2001.

[13] Battistin, D. (2000). *Analytical, Numerical and Experimental Investigation on the Wave Interference Phenomenon of Trimaran Configurations*, NAV, Venice, 2000.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	นาย อมรเดช กานตันถนินิต
วัน เดือน ปีเกิด	11 กุมภาพันธ์ 2527
ที่อยู่	226 ซอยอ่อนนุช 35 ถนนสุขุมวิท 77 เขตสวนหลวง แขวงสวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250 โทร. 086-665-6425, อีเมลล์ amorndech_k@yahoo.com
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2539 - 2544	มัธยมศึกษาตอนต้น-ตอนปลาย สาขาวิทย์-คณิต โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ
พ.ศ. 2545 - 2548	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมต่อเรือและเครื่องกลเรือ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
พ.ศ. 2550 - 2554	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ. 2549 - 2550	ตำแหน่ง วิศวกรตัวเรือ บริษัท มาร์ชชั่น จำกัด (อำเภอเมือง, สมุทรปราการ.)
พ.ศ. 2550 - 2553	ตำแหน่ง วิศวกรโครงการ บริษัท เรือเร็วลมพระยา จำกัด (เกาะสมุย, สุราษฎร์ธานี)
พ.ศ. 2551 - 2553	ตำแหน่ง วิศวกรโครงการ บริษัท คาร์ดีโอ จำกัด (สวนหลวง, กรุงเทพมหานคร)
พ.ศ. 2553 - 2554	ตำแหน่ง วิศวกรประเมินราคา, วิศวกรควบคุมงาน หจก. เทียนทอง เดคคอเรท 2006 (สามพราน, นครปฐม)
ปัจจุบัน	ตำแหน่ง ผู้ช่วยผู้จัดการ บริษัท จาลัส มารีน จำกัด (สัตหีบ, ชลบุรี)

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

การศึกษาหาค่าแรงต้านทานคลื่นของเรือไตรมารานโดยการคำนวณพลศาสตร์ของไหล